

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DESTILACIÓN SOLAR
TIPO CASCADA PARA LA OBTENCIÓN DE 180 ml/día DE AGUA
DESTILADA TIPO IV.**

AUTOR:

**LUNA PEÑAFIEL JONATHAN FABRICIO
RUIZ ANTAMBA LIZETH ANDREA**

TUTOR:

QUITIAQUEZ SARZOSA WILLIAM GIOVANNY

Quito, julio de 2017

Cesión de derechos de autor

Nosotros, Jonathan Fabricio Luna Peñafiel con documento de identificación N° 0401325261 y Lizeth Andrea Ruiz Antamba con documento de identificación N° 1719685826, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: "Diseño y construcción de un sistema de destilación solar tipo cascada para la obtención de 180 M/l de agua destilada tipo IV", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de propiedad intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Jonathan Fabricio Luna Peñafiel
Cédula: 040132526-1
Fecha: Quito, Julio de 2017

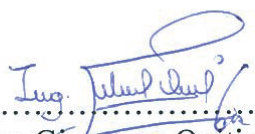


.....
Lizeth Andrea Ruiz Antamba
Cédula:171968582-6

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño y construcción de un sistema de destilación solar tipo cascada para la obtención de 180 M/l de agua destilada tipo IV, realizado por Jonathan Fabricio Luna Peñafiel y Lizeth Andrea Ruiz Antamba, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio de 2017


.....
Ing. William Giovanny Quitiaquez Sarzosa M.Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mis padres Patricio y Narciza por haberme permitido la vida, por sus enseñanzas, consejos, paciencia, ternura, amor y sobre todo a su incondicional apoyo que ha permitido en mí una formación integral.

A mis abuelitos Teresita y Bolívar, que estuvieron pendientes de mi formación profesional demostrándome siempre su gran amor y creyendo en mí, también a mis hermanos Daniel y María Teresita por sus palabras de aliento a la distancia, que me ayudaron a culminar esta etapa de mi vida y no rendirme hasta lograrlo.

A todos quienes forman parte de mi familia, que con su apoyo económico y moral me permitieron llegar a este momento.

A mi amada novia Sarita por acompañarme durante este largo camino siendo un pilar muy importante en mi vida y en esta carrera.

Jonathan

A mi madre Mireya, por no darme la espalda en los últimos peldaños de mi carrera, y siempre hacer hasta lo imposible por sacarme adelante, por tu paciencia, por creer en mí, inclusive cuándo ni yo lo hacía, por todo lo que has sacrificado por mí, jamás me alcanzaría la vida para agradecerte, esto es por ti, y para ti. Te amo.

A mi padre Marco, por apoyarme cuando quise botar la toalla y no dejarme rendir jamás en el transcurso de mi carrera, por ser mi amparo ante el machismo que tuve que sobrellevar, por saber respetar mis decisiones, por siempre saber darme ese empujón emocional cuando más lo necesité, gracias papá, hoy tu princesa es una ingeniera.

A mis hermanas y hermano, Camila, Jessica, Karen, Martín, sin ustedes hubiera sido imposible sobrellevar esta largo caminar, gracias por siempre demostrarme su amor.

A mi novio Mauricio, mi sempiterno amor, por compartir este proceso amargo y dulce a la vez conmigo desde el inicio, gracias por tu paciencia, por consentirme en todo momento y siempre ver primero por mí, hoy compartimos este logro juntos.

A mi abuelito Luis (✝), por siempre creer que llegaría muy lejos, sé que dónde te encuentres estas compartiendo esta felicidad conmigo, sin tu apoyo, no lo hubiera conseguido, te lo agradezco de corazón.

Lizeth

Agradecimiento

A la Universidad Politécnica Salesiana, por acogernos en sus aulas, y brindarnos un ambiente afable para nuestra formación académica, en especial a los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica, que, junto a su vasta experiencia laboral y su ética profesional, lograron formarnos como ingenieros capaces de convertir cualquier desafío en una realidad.

A nuestro tutor Ing. William Quitiaquez M.Sc., a pesar de su alto nivel de exigencia llegamos a comprender que mientras más se eleva un ser humano, más pequeño les parece a los que no saben volar, y hoy gracias a él sabemos que la palabra “no puedo” no existe en nuestro vocabulario.

CONTENIDO

Cesión de derechos de autor.....	I
Declaratoria de coautoría del docente tutor	II
Dedicatoria	III
Agradecimiento	IV
CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	X
INDICE DE FIGURAS	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIV
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
CAPÍTULO I.....	3
1.1. Destilación.....	3
1.1.1. Destilación solar	3
1.2. Destilador	4
1.2.1. Funcionamiento de un destilador de agua	5
1.3. Radiación solar	6
1.3.2. Irradiancia.....	7
1.3.3. Irradiación	7
1.3.4. Insolación	7
1.3.1. Comportamiento de la insolación solar en Ecuador	8
1.4. Tipos de destiladores	9
1.4.1. Destilador solar de una vertiente	10
1.4.2 Destilador solar de dos vertientes.....	10
1.4.3. Destilador solar tipo cascada.....	11
1.4.4. Destilador solar esférico	16
1.5. Materiales de construcción para destiladores solares	17
1.6. Características del Agua	17
1.6.1 Agua tipo IV.....	18
1.7. Análisis de las alternativas	19
1.7.1. Identificación de necesidades.....	19
1.7.2. Alternativas de solución	20

1.7.3. Elección de la mejor alternativa para el diseño del destilador	21
Conclusiones del capítulo.....	24
CAPÍTULO II.....	25
2.1 Características del diseño	25
2.2 Ángulo de inclinación del destilador.....	25
2.3 Dimensiones del destilador	28
2.4 Fórmulas de aplicación para transferencia de calor y masa	30
2.5 Balance de energía en la cubierta	31
2.5.1 Coeficientes de transferencia de calor por radiación.....	33
2.5.2 Coeficientes de transferencia de calor por convección $h_{conv,a-c}$ y $h_{conv,c-aire}$	34
2.5.3 Número de Nusselt	34
2.5.4 Número de Rayleigh.....	34
2.5.5 Número Grashof	35
2.5.6 Número de Prandtl.....	35
2.6 Balance de energía para el agua de cada depósito del equipo.....	35
2.7 Balance de energía para cada depósito de la cascada.....	36
2.7.1 Flujo de calor que se pierde q_p	37
2.8 Modelo matemático establecido y resultados de los cálculos.	38
2.8.1 Flujo de calor por evaporación.....	38
2.8.2 Flujos de calor por convección entre el agua y la cubierta	41
2.8.3 Flujo de calor por convección entre la cubierta y el medio exterior	41
2.8.4 Flujo de calor por convección entre el depósito y el agua	43
2.8.5 Flujos de calor por radiación entre el agua y la cubierta ($q_{rad,a-c}$).....	44
2.8.6 Flujo de calor por radiación que se desprende de la cubierta.....	44
2.8.7 Flujos de calor que se pierden	45
2.9 Resultados del modelo matemático	47
2.9.1 Cálculo del espesor de la cubierta	47
2.9.2 Cálculo del espesor del aislante.....	49
2.10 Desarrollo del modelo 3D del destilador.....	53
2.10.1 Cubierta	53
2.10.2 Placa absorbente.	55
2.10.3 Aislantes	55

2.10.4 Soporte de madera.....	56
2.10.5 Estructura metálica del destilador	56
2.10.6 Tubería para la alimentación de agua.....	57
2.10.7 Ensamble final del destilador	58
Conclusiones del capítulo.....	59
CAPÍTULO III.....	60
3.1 Proceso de construcción	60
3.1.1 Cortado	60
3.1.2 Doblado	60
3.1.3 Torneado.....	61
3.1.4 Soldadura.....	62
3.1.5 Sellado de los laterales	62
3.1.6 Colocación de aislante.....	63
3.1.7 Pintado.....	63
3.1.8 Ubicación de la tubería de entrada de agua	64
3.1.9 Colocación de la cubierta	64
3.2. Pruebas realizadas	65
3.2.1 Inspección de los elementos del destilador	65
3.2.2 Inspección de fugas	65
3.2.3 Inspección con carga máxima del equipo y en operación	66
3.2.4 Funcionamiento y toma de datos.....	66
3.3. Resultados de las pruebas.....	69
3.3.1 Análisis de resultados.....	70
3.4 Gráficas	71
3.4.1 Figuras de la radiación y temperatura del agua en función del tiempo	71
3.4.2 Tiempo vs Volumen de agua y Radiación (18-05-2017)	73
3.4.3 Temperaturas vs Tiempo (18-05-2017).....	74
3.4.4 Flujos de calor (18-05-2017).....	74
3.4.5 Temperatura del vidrio vs Velocidad del viento (18-05-2017).....	75
3.4.6 Análisis de resultados.....	75
3.4.7 Análisis del Tipo de agua obtenido	76
Conclusiones del capítulo.....	78
CAPITULO IV	79

4.1 Costos de inversión para la construcción del prototipo.....	79
4.1.1 Costos de materiales.....	79
4.1.2 Costos de procesos de construcción.....	80
4.1.3 Costos de mano de obra y de diseño	80
4.1.4 Costos varios	81
4.1.5 Costo total de la inversión del prototipo	81
4.2 Estudio financiero para construcción de un destilador modelo industrial.....	81
4.2.1 Costos	82
4.2.1.1 Costos de inversión	82
4.2.1.2 Costos de mantenimiento	83
4.2.1.3 Costos de operación.....	83
4.2.1.4 Costo debido a la depreciación.....	85
4.2.1.5 Costos debido a la inflación	85
4.2.2 Presupuestos de ingresos	86
4.2.3 Punto de Equilibrio.....	88
4.2.3.1 Ingresos	89
4.2.3.2 Costos totales.....	90
4.2.4 Evaluación económica del proyecto.....	91
4.2.4.1 Utilidades.....	91
4.2.4.2 Valor Actual Neto	92
4.2.4.3 Tasa Interna de Retorno	93
4.2.4.4 Tiempo de recuperación de la inversión (PRI).....	94
4.2.4.5 Relación costo beneficio	96
4.3 Destilador tipo DEA-4.....	97
4.3.1 Consumo energético	97
4.3.2 Producción de CO ₂	97
4.3.3 Destilador solar tipo cascada.	98
4.3.4 Análisis de resultados.....	98
Conclusiones del capítulo.....	99
CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	102
Bibliografía.....	103
Anexo A: Tablas para el cálculo de los ángulos de incidencia del sol	109

Tabla A:1 ángulo de incidencia (δ)[°].....	109
Tablas A:2 Valores promedio de $\cos(\theta)$ en cada mes	110
Tablas A:3 Radiación promedio para el ángulo β	115
Anexo B: Tablas de comportamiento de datos del destilador tomados durante su funcionamiento.....	120
Tabla B:1 Datos obtenidos para el 16 de mayo de 2017	120
Tabla B:2 Datos obtenidos para el 17 de mayo de 2017	122
Tabla B:3 Datos obtenidos para el 18 de mayo de 2017	124
Tabla B:4 Datos obtenidos para el 19 de mayo de 2017	128
Tabla B:5 Datos obtenidos para el 21 de mayo de 2017	131
Anexo C: Procesos de soldadura empleados en la construcción.....	135
Anexo D: Datos calculados y de laboratorio.....	137
Tabla D:1 Datos calculados y de laboratorio para el 16 de mayo de 2017	137
Tabla D:2 Datos calculados y de laboratorio para el 17 de mayo de 2017	139
Tabla D:3 Datos calculados y de laboratorio para el 18 de mayo de 2017	141
Tabla D:4 Datos calculados y de laboratorio para el 19 de mayo de 2017	144
Tabla D:5 Datos calculados y de laboratorio para el 21 de mayo de 2017	147
Anexo E: Datos de agua destilada obtenida.....	152
Anexo F: Imágenes termo – gráficas	154
Anexo G: Dimensiones y parámetros medibles	156
Tabla G:1 Dimensiones del prototipo	156
Tabla G:2 Parámetros medibles en el prototipo	156
Anexo H: Especificaciones del multímetro.....	157
Anexo I: Especificaciones de las termocuplas	158
Anexo J: Imágenes de costos de comercialización de agua destilada.....	159
Anexo K: Planos	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Radiación directa mínima y máxima en la provincia de Pichincha	9
Tabla 2. Características de los materiales más utilizados en destiladores solares	17
Tabla 3. Índice de propiedades por tipos de agua	18
Tabla 4. Alternativas de solución.....	21
Tabla 5. Análisis cuantitativo de las alternativas	22
Tabla 6. Argumentos de cada necesidad	22
Tabla 7. Radiación en una superficie Inclínada en $(W \cdot h \cdot m^{-2} \cdot día^{-1})$	28
Tabla 8. Propiedades del agua líquida a presión atmosférica	43
Tabla 9. Espesores para el Vidrio	49
Tabla 10. Espesores para el Acrílico.....	49
Tabla 11. Comparación de materiales para la estructura	51
Tabla 12. Cálculo con Lana de vidrio	52
Tabla 13. Cálculo con el Manto Cerámico.....	52
Tabla 14. Cálculo con el Durapax.....	53
Tabla 15. Inspección de los accesorios y elementos del equipo	65
Tabla 16. Inspección de la existencia de fugas	66
Tabla 17. Inspección del funcionamiento	66
Tabla 18. Datos tomados en el equipo del 18 de mayo.....	67
Tabla 19: Cálculos de distintas variables para el equipo del 18 de mayo	69
Tabla 20. Resultados del agua destilada	77
Tabla 21. Costos de materiales.....	79
Tabla 22. Costos de procesos de construcción.....	80
Tabla 23. Costos de mano de obra y diseño.....	80
Tabla 24. Costos varios	81
Tabla 25. Costos totales de la inversión.....	81
Tabla 26. Costos de inversión para la construcción del destilador	83
Tabla 27. Costos de mantenimiento del destilador	83
Tabla 28. Costo del agua utilizada en el destilador.....	84
Tabla 29. Insumos para envasar el agua.....	84
Tabla 30. Historial de inflación.....	85
Tabla 31. Resumen total de costos.....	86
Tabla 32. Precio del agua destilada por distintas productoras	86

Tabla 33. Proyección de la inflación y precio futuro del agua.....	87
Tabla 34. Ingreso por año.....	88
Tabla 35. Ingresos por año	89
Tabla 36. Ingresos acumulados	89
Tabla 37. Costos totales por año	90
Tabla 38. Costos totales acumulados	90
Tabla 39. Utilidades	92
Tabla 40. Flujo Neto	92
Tabla 41. Cálculo del VAN.....	93
Tabla 42. Cálculo de la TIR	94
Tabla 43. Interpolación para hallar la (TIR)	94
Tabla 44. Tabla de flujos netos para calcular (PRI).....	95
Tabla 45. Relación costo beneficio	96

INDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Configuración básica de un destilador de agua	5
Figura. 2 Radiación solar luego de atravesar la atmósfera de la tierra	6
Figura. 3 Ángulos de inclinación del sol respecto a la tierra según los solsticios y equinoccios	7
Figura. 4 Mapa de insolación solar promedio del año 2008 Ecuador	8
Figura. 5 Sistema de destilación solar de una sola vertiente	10
Figura. 6 Sistema de destilación solar de dos vertientes	11
Figura. 7 Sistema de destilación con destilador solar tipo cascada	13
Figura. 8: Sistema de destilación solar esférico de barredera	16
Figura. 9 Diagrama de ángulos	25
Figura. 10 Dimensiones de los recipientes del destilador	29
Figura. 11 Dimensiones del destilador	30
Figura. 12 Diagrama para el balance de energías del destilador	30
Figura. 13 Resistencias térmicas para calcular el flujo de calor que se pierde	37
Figura. 14 Resistencias para la cubierta	47
Figura. 15 Resistencias para el refractario	50
Figura. 16 Cubierta de vidrio	54
Figura. 17 Placa absorbente	55
Figura. 18 Aislante	56
Figura. 19 Soporte de madera	56
Figura. 20 Estructura	57
Figura. 21 Tubería de alimentación de agua	57
Figura. 22 Destilador tipo cascada	58
Figura. 23 Cortado manual de la plancha de tool	60
Figura. 24 doblado de las placas laterales	61
Figura. 25: Torneado de los acoples de entrada y recolección de agua	61
Figura. 26: Proceso de soldadura TIG	62
Figura. 27: Sellado de los bordes laterales	62
Figura. 28: Ubicación del aislante (lana de vidrio)	63
Figura. 29: Proceso de pintado	63
Figura. 30: Ubicación de la tubería de entrada de agua	64
Figura. 31: Ubicación de la cubierta.	64

Figura. 32: Temperatura vs Tiempo y Radiación (16-05-2017)	71
Figura. 33: Temperatura vs Tiempo y Radiación (17-05-2017)	71
Figura. 34: Temperatura vs Tiempo y Radiación (18-05-2017)	72
Figura. 35: Temperatura vs Tiempo y Radiación (19-05-2017)	72
Figura. 36: Temperatura vs Tiempo y Radiación (21-05-2017)	73
Figura. 37: Tiempo vs Volumen de agua y Radiación (18-05-2017)	73
Figura. 38: Temperatura vs Tiempo (18-05-2017)	74
Figura. 39: Flujos de calor vs Tiempo (18-05-2017)	74
Figura. 40: Temperatura de la cubierta vs Tiempo vs Velocidad del viento (18-05-2017)	75
Figura. 411: Envase de un litro para agua destilada.....	84
Figura. 422: Punto de equilibrio de producción.....	90
Figura. 433: Recuperación de la inversión.....	95

SIMBOLOGÍA

α_c : Absortividad de la cubierta

α_s : Absortividad de una superficie

α_a : Absortividad del agua

Z_s : Ángulo azimut

β : Ángulo de inclinación de la superficie con respecto a la horizontal

δ : Ángulo de inclinación de los rayos solares

ϕ : Ángulo de latitud para Quito

ω : Ángulo horario

A : Área superficial de cada material

$C_{p,c}$: Calor específico de cubierta a presión constante

h_{conv} : Coeficiente de calor por convección

B : Coeficiente de dilatación térmica

h_e : Coeficiente de transferencia de calor de evaporación

$h_{conv,d-a}$: Coeficiente de transferencia de calor del depósito a la superficie del agua

h_v : Coeficiente de transferencia de calor del viento

$h_{conv,a-c}$: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre agua-cubierta

$h_{conv,c-aire}$: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre cubierta-aire

h_{rad} : Coeficiente de transferencia de calor por radiación

$h_{rad,a-c}$: Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre agua-cubierta

$h_{rad,c-aire}$: Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre cubierta-aire

k_m : Conductividad de la madera

k_d : Conductividad del depósito

k_{ac} : Conductividad del acero del depósito

$k_{aislante}$: Conductividad del aislante

$k_{soporte}$: Conductividad del soporte

$k_{t,c}$: Conductividad térmica de la cubierta

k_f : Conductividad térmica del fluido

σ : Constante de Boltzmann

ρ_a : Densidad del agua

$\frac{dT_a}{dt}$: Diferencial de temperatura en el agua

$\frac{dT_c}{dt}$: Diferencial de temperatura en la cubierta

$\frac{dT_d}{dt}$: Diferencial de temperatura del depósito

α_{ci} : Difusividad térmica

ε : Emisividad

h_{fg} : Entalpía de vaporización del agua

L_m : Espesor de la madera

L_d : Espesor del acero de los depósitos

$L_{aislante}$: Espesor del aislante

$L_{soporte}$: Espesor del soporte

$q_{conv,c-aire}$: Flujo de calor por convección entre la cubierta-aire

$q_{conv,a-c}$: Flujo de calor por convección entre la superficie del agua-cubierta

q_{conv} : Flujo de calor por convección

q_e : Flujo de calor por evaporación

$q_{rad,c-aire}$: Flujo de calor por radiación entre la cubierta-aire

$q_{rad,a-c}$: Flujo de calor por radiación entre la superficie del agua-cubierta

q_{rad} : Flujo de calor por radiación

q_p : Flujo de calor que se pierde

g : Gravedad

AST : Hora del día (1-24 h)

L : Longitud característica

\dot{m}_e : Masa de evaporación o flujo másico

m_c : Masa de la cubierta

m_a : Masa del agua

n : Número de días

G_r : Numero de Grashof

P_r : Numero de Prandtl

Ra : Número de Rayleigh

P : Perímetro

M_{aire} : Peso Molecular del aire

M_a : Peso Molecular del agua

P_r : Presión atmosférica

P_c : Presión de la cubierta

P_a : Presión de vapor del agua

G_d : Radiación Difusa

G_D : Radiación directa

G_{cielo} : Radiación emitida por la atmosfera

G_{total} : Radiación total

G : Radiación Solar total

$R_{cond,cubierta}$: Resistencia de conducción de la cubierta

R_{Total} : Resistencia total

R_{cr} Resistencia de convección radiación

T_s : Temperatura superficie

T_{cielo} : Temperatura cielo

$T_{s,c}$: Temperatura de la superficie de la cubierta

$T_{s,d}$: Temperatura de la superficie del depósito

T_{cielo} : Temperatura de la superficie

T_{alred} : Temperatura de los alrededores

T_{amb} : Temperatura Ambiente

T_M : Temperatura de película

T_a : Temperatura del agua

$T_{\infty,aire}$: Temperatura del aire

T_{s_2},c : Temperatura en el exterior de la cubierta

T_{s_1},c : Temperatura en el interior de la cubierta

$T_{s_1,d}$: Temperatura en el interior en la superficie interior del depósito

T_{s_2m} : Temperatura en la superficie exterior de la madera

τ_c : Transmisividad de la cubierta

τ_c : Transmisividad de la cubierta

τ_a : Transmisividad del agua

V : Velocidad del viento

μ_a : Viscosidad del agua

ν : Viscosidad dinámica

Vi : Volumen inicial

Vd : Volumen destilado

Vf : Volumen final

RESUMEN

La presente investigación consiste en la obtención de agua tipo IV, se plantea obtener $180 \frac{ml}{día}$ de agua destilada, se presenta un balance de energía considerando todos los flujos de calor involucrados entre los depósitos de agua y la cubierta, posterior a esto se desarrolló los cálculos rigurosamente mediante el uso de fórmulas actuales, explicando todo proceso de simplificación o reemplazo, haciéndolas más concisas en su estructura.

Las pruebas de funcionamiento del equipo fueron realizadas durante un período prolongado de tiempo, en condiciones favorables como días soleados, y condiciones desfavorables con leves lloviznas, los datos arrojados corroboraron el balance de energía previsto llegando a obtener $500 \frac{ml}{día}$ haciendo rentable su inversión a nivel industrial, además de tener un consumo de $0,021 t CO_2$, valor que es sumamente inferior en comparación con los destiladores eléctricos, por lo cual el equipo es amigable con el medio ambiente.

En relación con la radiación incidente en diferentes días, mientras esta posea un valor alto, se llega a tener temperaturas superiores a los $70^{\circ}C$ en el agua, mientras que la placa absorbente supera los $85^{\circ}C$, así mismo la cubierta de vidrio se encuentra en un rango $40^{\circ}C$ a $50^{\circ}C$, llegando a obtener 60 ml de agua destilada en aproximadamente 20 minutos a diferencia de los días con baja radiación, donde estos valores descienden a $27^{\circ}C$, $30^{\circ}C$, y $20^{\circ}C$ respectivamente, recolectando un promedio de 10 ml de agua destilada cada 20 minutos.

El diseño de destilación tipo cascada en comparación con los resultados de destilación obtenidos por Tabuada y Flores, presenta un tamaño compacto logrando que la absorción de calor sea inmediata obteniendo mayor cantidad de destilación, en menos tiempo, su rendimiento es del 61% mientras que el de doble cubierta presenta una eficiencia del 35%

Palabras clave: Destilador solar, Agua tipo IV, Balance de energía, Calor transferido, Consumo energético, Radiación incidente, Agua destilada.

ABSTRACT

The following investigation consists on the obtention of water type IV. In order to get $180 \frac{ml}{día}$ of distilled water, a balance of energy considering heat flows involved between water tanks and cover was presented. Afterwards, current formula was used to develop calculations explaining every process of simplification or replacement, making them more concise in their structure.

Equipment performance tests were carried out for an extended period of time in favorable conditions such as sunny days as well as in unfavorable conditions such as rainy days. The gathered data corroborated the foreseen energy balance obtaining $500 \frac{ml}{día}$, making its industrial investment profitable. Moreover, its $0,021 t CO_2$ consume was considerably low in comparison to electric distillers, which is why the equipment is eco-friendly.

In relation to the radiation incident in different days, while it has a high value, temperatures in water are superior to $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, same situation happens with the absorbent plate and the glass cover, which temperatures rise as the following: the former exceeds temperatures of $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the later maintains its rage from $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. In this conditions, 60 ml of water can be obtained in approximately 20 minutes. On the contrary, in days with low radiation, values in water, absorbent plate and glass cover drop to $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectively, getting on average 10 ml of distilled water every 20 minutes.

The cascade type distillation design in comparison to distillation results reached by Tabuada and Flores, shows a compact size that allows the prompt heat absorption obtaining a higher quantity of distillation in a shorter period of time; its yield is 61% while the performance of the double deck design is 35%

Keywords: Solar Distiller, Water type IV, Energy balance, Heat transferred, Energy consumption, Incident radiation, Distilled water.

INTRODUCCIÓN

Los cambios climáticos alrededor del mundo cada año son más evidentes, durante el año 2016 la concentración atmosférica de CO₂ no bajó de 400 partes por millón (ppm), y a pesar que la estadística es evidente grandes potencias mundiales le dan la espalda al problema, a pesar de esto existen proyectos a pequeña escala a nivel mundial, que pretenden hacer un frente al cambio climático, en su mayoría prototipos e investigaciones realizados por jóvenes entre 15 y 25 años, es así que nace el presente proyecto, desarrollado en torno al ámbito de energías renovables, como lo es el destilador solar tipo cascada, cuya fuente de energía es el sol, capaz de evaporar el agua contenida en sus depósitos, para luego por efecto de condensación destilarla, obteniendo así agua destilada como su nombre lo indica, la misma que será empleada a nivel industrial, sea en lavado de cristalería, procesos de enfriamiento, o como reactivo a nivel de laboratorio químico.

El consumo energético por parte de los destiladores de agua empleados a nivel industrial se encuentra en un rango aproximado de 3000 W, necesitando una fuente de alimentación de 220 V, consumiendo alrededor de 1628 toneladas de CO₂ anualmente, esto representa un impacto ambiental que dentro de la temática a nivel mundial se pretende reducir, es así que se opta por construir un prototipo amigable con el medio ambiente, pero a su vez eficiente, considerando los aspectos de diseño, construcción y ensamblaje revisados en diferentes investigaciones a nivel mundial, así mismo como las ecuaciones gobernantes en distintos modelos matemáticos que junto al balance de energía brindarán información numérica muy relevante empleada en la cuantificación de captación solar y absorción de calor por parte del prototipo.

De modo que mediante este proceso se pretende obtener un equipo que pueda ser empleado a escala industrial, y cuya huella de carbono sea insignificante en cuanto a contaminación ambiental.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar y construir un sistema de destilación solar tipo cascada para la obtención de $180 \frac{ml}{dia}$ de agua destilada tipo IV que será utilizada para el lavado de equipos de laboratorios químicos.

Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte de los diferentes sistemas de destilación de agua que utilicen energía solar a nivel mundial.
- Cuantificar la cantidad de radiación que capta el destilador, mediante la resolución de las ecuaciones relacionadas con la energía solar.
- Diseñar el sistema de destilación solar tipo cascada, considerando los aspectos físico-térmicos a partir de los parámetros establecidos.
- Evaluar la calidad del agua obtenida, a través de pruebas de laboratorio.

CAPÍTULO I

Entre los recursos más abundantes y valiosos del planeta, se encuentra el agua, sin embargo, es uno de los líquidos más contaminados y alterados por sustancias como materia orgánica, nutrientes, o metales pesados, siendo necesario realizar procesos de destilación. La energía solar constituye una fuente limpia de energía permitiendo obtener agua destilada, en esta investigación se dará un enfoque al agua tipo IV obtenida a partir de este procedimiento, tomando en consideración las variables involucradas en el proceso de destilación, así como la ubicación del equipo y sus materiales óptimos para su construcción, incentivando así el uso del mismo dentro de laboratorios químicos.

1.1. Destilación

Es el método o procedimiento físico más utilizado frecuentemente para separar mezclas que por lo general son líquidas, de sus impurezas no volátiles. Debido a los distintos puntos de ebullición que existen entre las sustancias, a mayor diferencia, se incrementa la efectividad del proceso y, por tanto, se alcanzará alta pureza en la obtención de los componentes [1]. La base teórica de la destilación se encuentra en la Ley de Dalton y la Ley de Raoult, la cuales plantean la relación entre la fracción molar de la mezcla y las presiones de vapor de los componentes [1-2]. Al bajar la presión donde se produce vapor, esta permite bajar el punto de ebullición y así se garantiza la eficiencia del destilador [2]. Un ejemplo de destilación y el más usado para obtener agua fresca es la desalinización, la cual se basa en separar el exceso de sales disueltas en el agua ya sea salobre o salada, o cualquier tipo de solución acuosa de sal, este procedimiento se realiza con el fin de recoger agua con un contenido bajo ya sea para utilizarla en la industria o simplemente para beber como agua potable [3-4].

1.1.1. Destilación solar

Para este proceso se utiliza al sol como fuente de energía, ya que es capaz de lograr que las sustancias lleguen al punto de ebullición haciendo que el vapor suba, se condense y vuelva a su estado inicial [3]. Por ello, el parámetro más importante es la intensidad de la irradiación solar. Para conocer ese dato y realizar el balance de energía es necesario considerar las temperaturas del colector, la masa del agua y la cubierta de vidrio, por eso en el diseño y construcción ha de evaluarse la forma y estructura de la

cubierta [5]. Con la finalidad de un mejor aprovechamiento se recomienda que se emplee plástico o vidrio que esté estructuralmente elevado; pues se favorece con ello el proceso de evaporación.

Para que ocurra la destilación, según Moya [6], la temperatura debe sobrepasar los 60° C, lo cual propicia que la cubierta represente una trampa térmica para la radiación solar. Esa radiación es absorbida por el agua almacenada que se desea destilar, y la otra parte es emitida con una longitud de onda mayor que la de la radiación incidente [6]. Debido a las diferencias de la longitud de onda, esta radiación no puede traspasar la cubierta y queda en el interior provocando un incremento de la temperatura ambiente y favoreciendo la destilación.

La eficiencia de ese proceso de consumo de energía térmica puede determinarse a través del factor de rendimiento (FR), ya que permite conocer la cantidad de agua pura producida (kg) por cada 2300 (kJ) de energía térmica consumida por el proceso [6]. Por lo tanto, el proceso será más eficiente cuanto mayor sea su FR. En relación con ese procedimiento, se recomienda que:

La orientación del destilador debe estar frente al sol todo el día, de preferencia llenarlo con un volumen del doble a lo que pueda retener el recipiente contenedor de agua destilada y se debe recolectar en un recipiente apropiado [7]. Pueden ubicarse varios destiladores en serie y en paralelo, de acuerdo al caso de estudio actual se diseñará e implementará un destilador híbrido.

Cada uno de estos factores, se desarrollará el diseño y construcción del destilador con el interés de garantizar la eficiencia del equipo y la calidad del agua obtenida.

1.2. Destilador

Un destilador está compuesto estructuralmente por un recipiente cubierto por un vidrio. El fondo de este recipiente debe ser de color negro para captar de forma más eficiente la radiación solar que incide en la cubierta y en el agua contenida [5].

Estos equipos se emplean para destilar líquidos, fundamentalmente agua, mediante los procesos de ebullición descritos con anterioridad; es decir, la cubierta condensa el vapor y esta fluye hasta un recolector.

Específicamente en la destilación solar el modelado matemático se centra en la simplificación de los coeficientes de transferencia de calor que actúan en el destilador,

de manera que puede calcularse con facilidad la tasa de producción de destilado, entre otros parámetros relevantes [5].

1.2.1. Funcionamiento de un destilador de agua

El funcionamiento de un destilador se basa en un fenómeno que se presenta de manera espontánea en la naturaleza el cual es conocido como el ciclo del agua. La energía térmica proveniente del sol, procede a la evaporización del agua a partir de toda superficie evaporante encontrada en la tierra [8]. Este vapor es concentrado en las nubes y cuando las condiciones atmosféricas son adecuadas, el vapor se enfría y condensa, volviendo a la superficie terrestre en forma de lluvia [8]. Por lo que el destilador de agua básicamente reproduce el fenómeno natural en ambiente controlado. Su configuración y diseño varían dependiendo de los volúmenes de agua requeridos y de su campo de aplicación. En la Figura 1 se presenta una explicación general de las partes que componen un destilador [9].

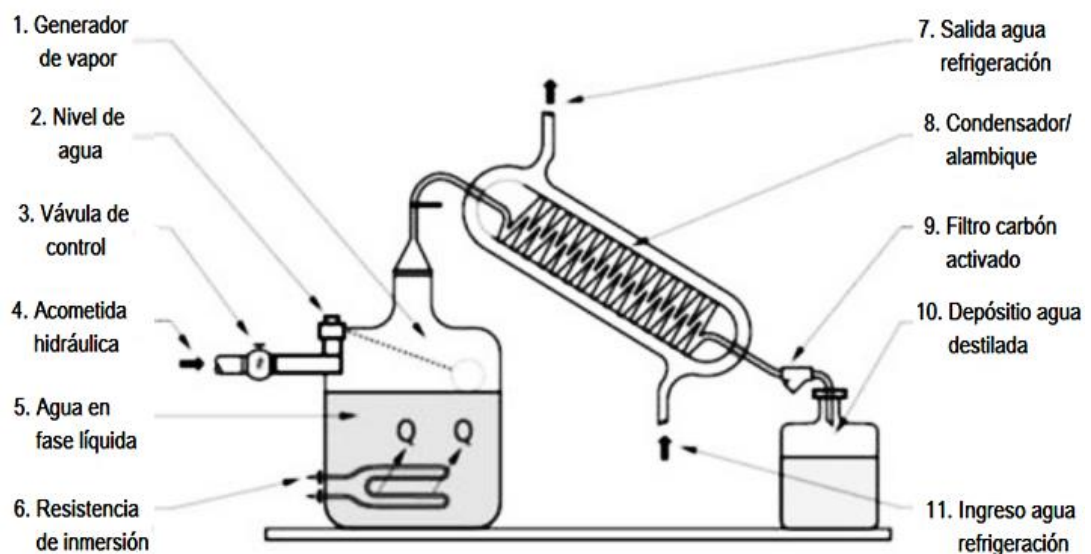


Figura. 1 Configuración básica de un destilador de agua [10].

Radiación solar

La radiación solar es la energía proveniente del sol, esta al introducirse en la tierra pasa por distintos fenómenos como son la reflexión, la transmisión y la absorción [11]. Como consecuencia de estos fenómenos se puede deducir que la energía proveniente del sol solo se aprovecha en un porcentaje y su valor depende de factores tales como: las condiciones climatológicas del lugar y el ángulo de inclinación del sol respecto a la tierra. La radiación solar luego de atravesar la atmósfera se presenta de tres maneras, la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada o de albedo [12].

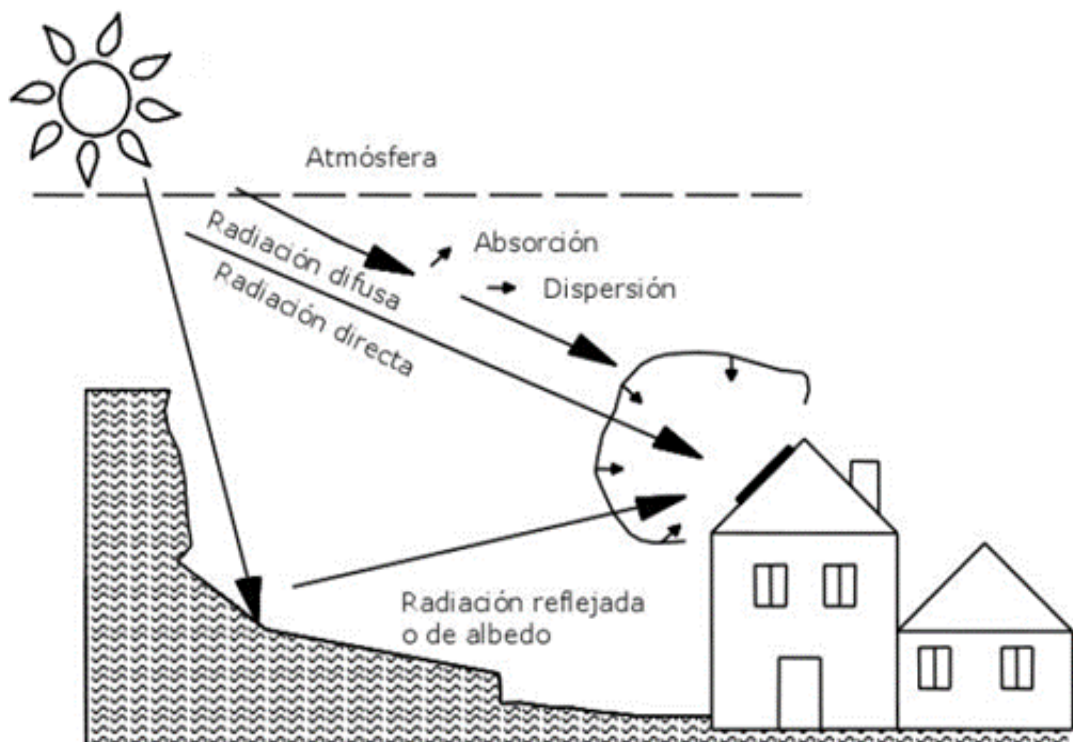


Figura. 2 Radiación solar luego de atravesar la atmósfera de la tierra [13].

Para realizar la respectiva instalación se debe predecir de forma aproximada el ángulo de inclinación del sol respecto a la tierra, para ello se debe tener en cuenta el valor de los ángulos de inclinación, los mismos que varían según la época del año, como se puede apreciar a continuación en la Figura 3, donde se muestran los diferentes ángulos

de inclinación según la época del año, los mismos que se tomarán como referencia para encontrar un valor adecuado para nuestra investigación.

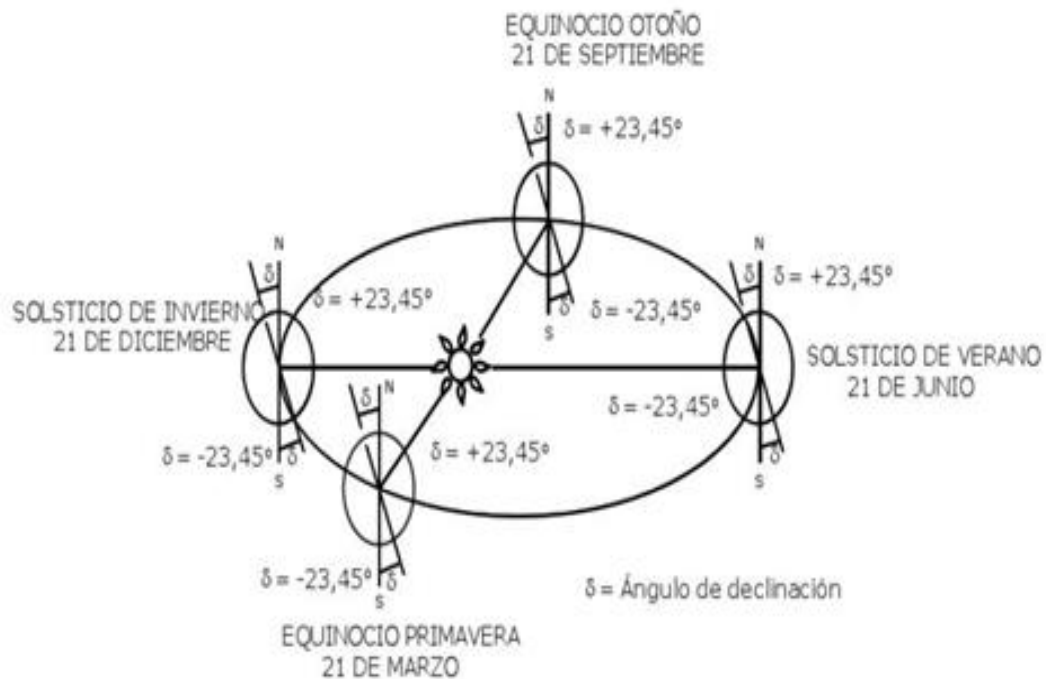


Figura. 3 Ángulos de inclinación del sol respecto a la tierra según los solsticios y equinoccios [13].

1.3.2. Irradiancia

Es una característica de la radiación y está relacionada con la potencia por unidad de área ($kW \cdot m^{-2}$) [14].

1.3.3. Irradiación

Comprende la cantidad de energía solar recibida en una superficie durante un determinado período de tiempo, y la potencia instantánea recibida más conocida como irradiancia, se expresa mediante las siguientes unidades ($Wh \cdot m^{-2}$) [15].

1.3.4. Insolación

La insolación es determinada mediante la suma de las irradiancias en el tiempo siendo una acumulación de energía que recibe un metro cuadrado durante el período de tiempo, y es expresada en kilovatio – hora por metro cuadrado distribuido en el período de un día $\left(\frac{kWh}{m^2 \cdot dia} \right)$ se utiliza generalmente para clasificar el potencial de la energía

de un panel solar multiplicando la potencia que se espera del panel por la cantidad de energía diaria [14].

1.3.1. Comportamiento de la insolación solar en Ecuador

El comportamiento en la República del Ecuador se mantiene en un rango desde los $700 \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right)$ mínimos hasta los $6500 \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right)$ máximos según la región del país y las diferentes épocas del año [12]. A continuación, se muestra un mapa de la insolación promedio durante el año 2008

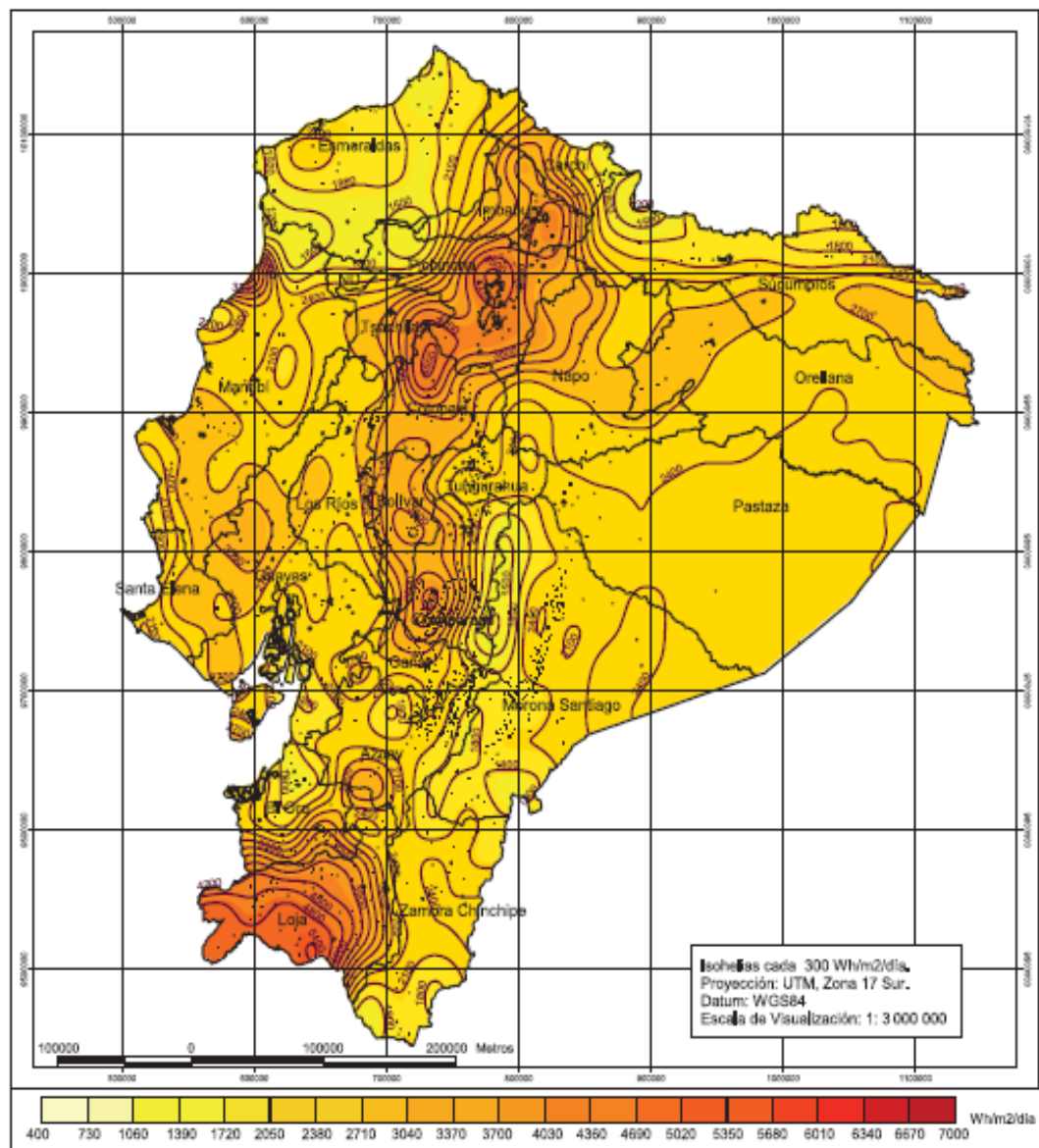


Figura. 4 Mapa de insolación solar promedio del año 2008 Ecuador [12].

Tabla 1. Radiación directa mínima y máxima en la provincia de Pichincha [12]

Meses	Insolación solar	Insolación solar
	mínima $\left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right)$	máxima $\left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right)$
Enero	1100	3900
Febrero	1200	3600
Marzo	2100	3300
Abril	2400	3600
Mayo	1800	4200
Junio	1900	4800
Julio	2400	5700
Agosto	1500	5400
Septiembre	2700	5400
Octubre	2100	5100
Noviembre	2700	5100
Diciembre	900	4500

En la Tabla 1 se refleja la radiación directa mínima y máxima que incide en la provincia de Pichincha según los meses del año. Como se puede apreciar en dicha tabla el mes de mayor incidencia de radiación solar es julio con $5700 \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right)$ de radiación máxima mientras que los meses de menor incidencia de radiación directa son diciembre y enero con un promedio de radiación directa mínima de 900 y $1100 \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right)$ respectivamente.

1.3. Tipos de destiladores

Existe diversidad en cuanto a diseños de destiladores solares, los que varían en cuanto a su complejidad, tamaño eficiencia y campo de aplicación, en el presente epígrafe se exponen algunos ejemplos de los destiladores más comunes.

1.3.1. Destilador solar de una vertiente

Este tipo de destiladores son dispositivos muy simples usados para convertir agua salobre o aguas residuales en agua potable, puede ser fabricado fácilmente con materiales disponibles localmente, su mantenimiento resulta ser económico y no se requiere de mano de obra especializada para su construcción [16].

En destiladores de este tipo, sólo una parte de la intensidad solar es absorbida por el colector linear, ya que el revestimiento se utiliza para la destilación, mientras que el resto se pierde en el medio ambiente [17]. Según Kalidasa *et al.* [16] la dirección y la inclinación de la cubierta transparente, el material del mismo, su espesor y la temperatura, son los responsables del funcionamiento del destilador.

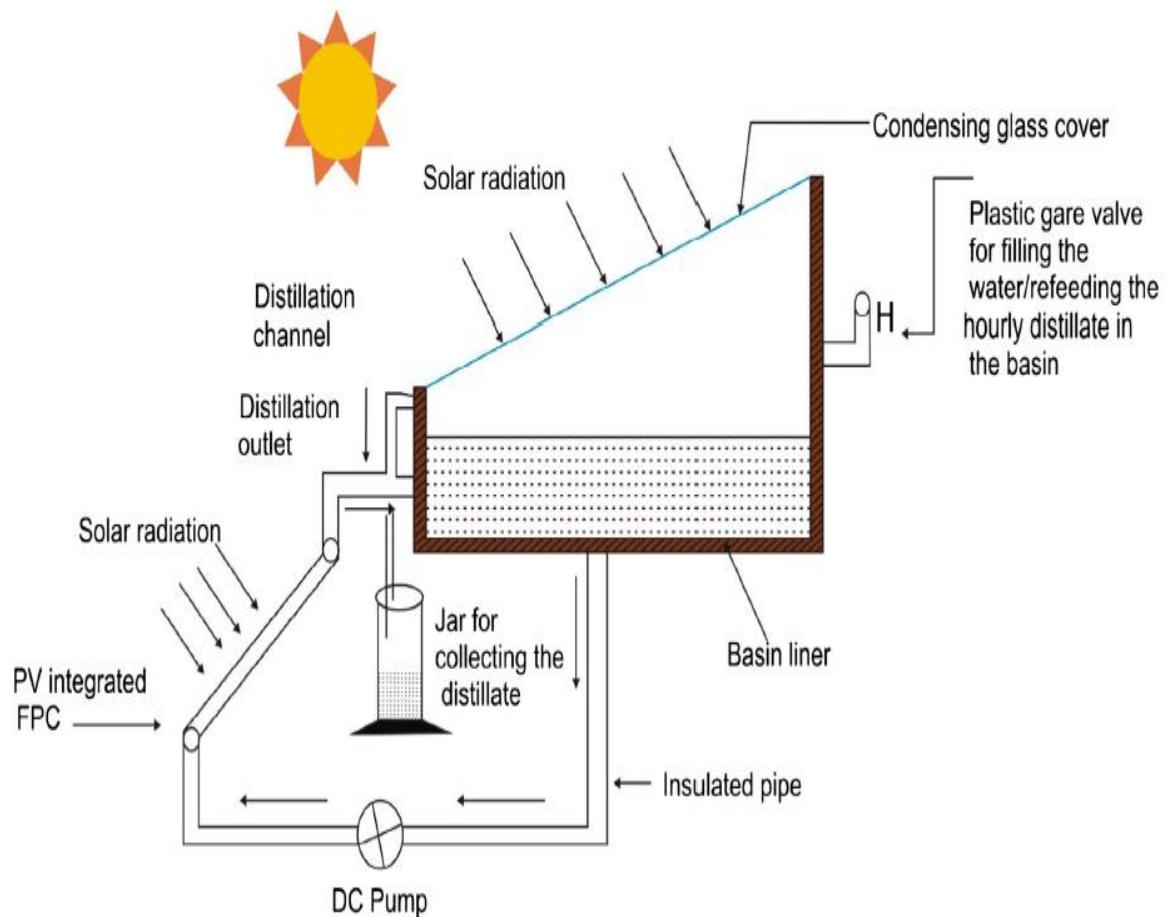


Figura. 5 Sistema de destilación solar de una sola vertiente [18].

1.4.2 Destilador solar de dos vertientes

A diferencia del destilador mostrado anteriormente, el modelo de dos vertientes se lo fabrica para minimizar las pérdidas por convección y radiación, la parte más

significativa de su diseño es la hoja adicional de material transparente fijada entre el recolector lineal y la cubierta de vidrio [17-19].

El funcionamiento de su estructura como se puede apreciar en la Figura 6, se basa en el oscurecimiento de la superficie interna de la base rectangular del destilador, garantizando así la máxima radiación solar [20]. Una fracción de la radiación solar se ve reflejada desde la superficie exterior de condensación conformado por la cubierta transparente y la superficie del agua, la máxima radiación solar penetra en el destilador y el fluido se ve absorbido por la superficie interna oscurecida [20].

El agua condensada gotea en los canales provistos en los extremos inferiores de la cubierta de vidrio por efecto de la gravedad. [20]

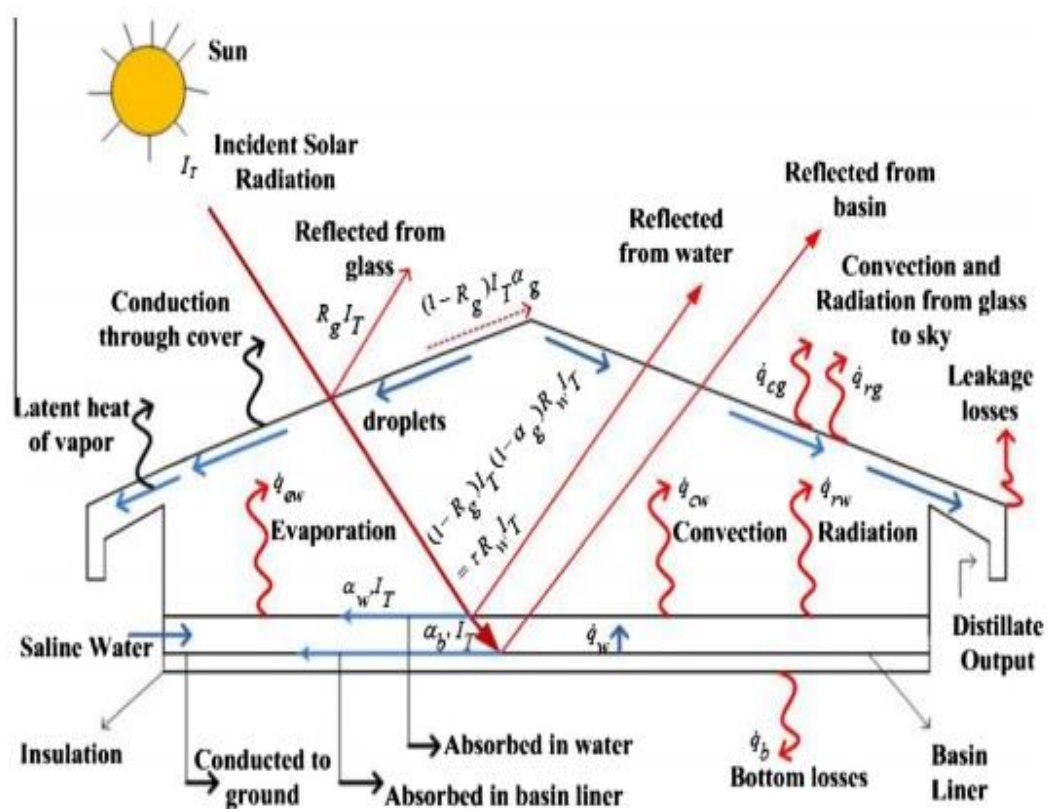


Figura. 6 Sistema de destilación solar de dos vertientes [20].

1.4.3. Destilador solar tipo cascada

El destilador solar tipo cascada se diseña en forma de terrazas y en cada una de ellas existen depósitos de agua a destilar, ante el calentamiento, el agua se condensa en superficies que cubren las terrazas y se traslada hacia un depósito de almacenamiento [9]. Algunos de estos tipos presentan un diseño complejo, debido a

las distintas modificaciones que se han realizado para incrementar su eficiencia, según Farshchi *et al.* [4] se acopló un sistema de humidificación – deshumidificación para prevenir la pérdida de agua caliente, mejorando su eficiencia de 40 a $150 \left(\frac{ml}{min} \right)$ equivalente a un 30%, gracias a su acoplamiento se logró obtener simultáneamente agua destilada y agua caliente.

Un factor importante en este tipo de destiladores es el efecto del caudal, como menciona Tabrizi *et al.* [21] al emplear un sistema tipo presa y doblando ligeramente los vértices de cada depósito el fluido se ve forzado a una mejor distribución de agua sobre los colectores, además que la transferencia de calor debido a la evaporación contribuyó significativamente en la transferencia total de energía, la eficiencia térmica para un flujo máximo y mínimo fue de 63.3 % y 36.7 % respectivamente.

Para realizar modificaciones se debe partir del modelo básico como en Ziabari *et al.* [22] que después de varios estudios y experimentos antes de llegar al diseño final se hizo una serie de cambios uno de los más significativos fue la eliminación del depósito inferior debido a una gran formación de incrustaciones, además que los tubos de recolección del agua destilada y del agua salubre fueron modificados teniendo un diseño final en forma de U evitando el escape de vapor en la salida, al comparar la eficiencia del diseño inicial con el diseño final se incrementó la producción de agua dulce en un 26 %.

Varios autores coinciden en que lo más importante a tener en cuenta en el diseño son ciertos parámetros, como lo indica Saettone *et al.* [23] se debe pintar cada depósito de color negro mate para una mejor absorción de calor además la profundidad de cada escalón debe ser de 0,02 mm logrando que el volumen de agua llegue a 3.36 l, el material empleado para la cubierta debe ser lo más transparente posible, en este caso se empleó vidrio de 3mm de espesor y la estructura debe estar a 45°, en su estudio acerca del destilador solar de bandeja modificado fueron las paredes reflectoras adyacentes a cada escalón de tal forma que se intensifica la radiación solar hacia el agua del mar incrementando su eficiencia en un 4,42% comparado con el convencional.

Algunos autores Torchia – Edalatpour *et al.* [5-24] los cuales plantean que para conseguir la eficiencia en un destilador tipo cascada se han de considerar una serie de factores, los cuales para la presente investigación se resumen en:

- Diseñar un equipo de fácil montaje ya sea por sus materiales o por su peso.
- Utilización de materiales que no se degraden y contaminen el agua (vidrios y acrílicos), proyectando una vida útil de cerca de 20 años.
- Realizar un mantenimiento adecuado, previsto en un plan.
- Tener en consideración durante la fase de diseño la resistencia del equipo a los vientos moderados.
- La ubicación del equipo debe estar en correspondencia con los resultados del análisis matemático sobre la radiación solar.

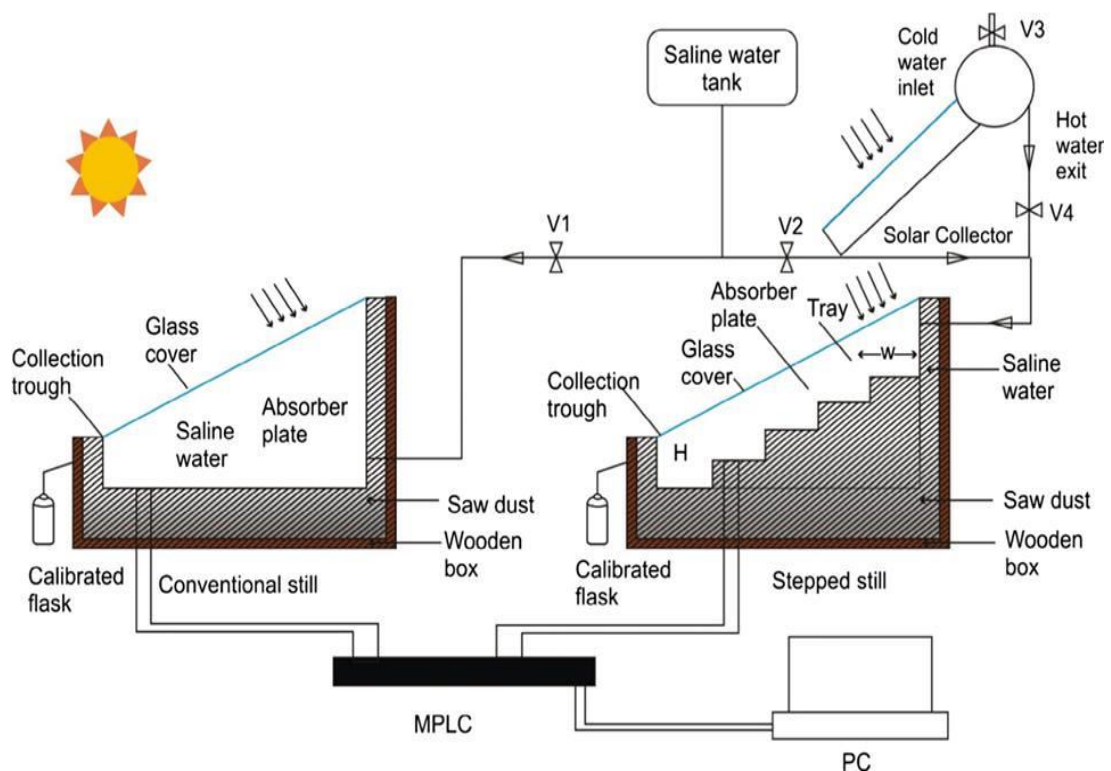
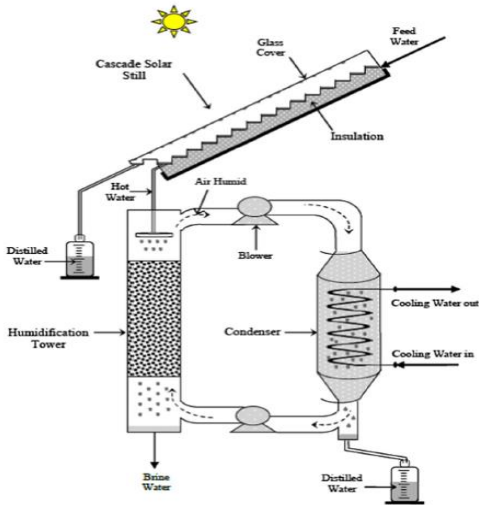
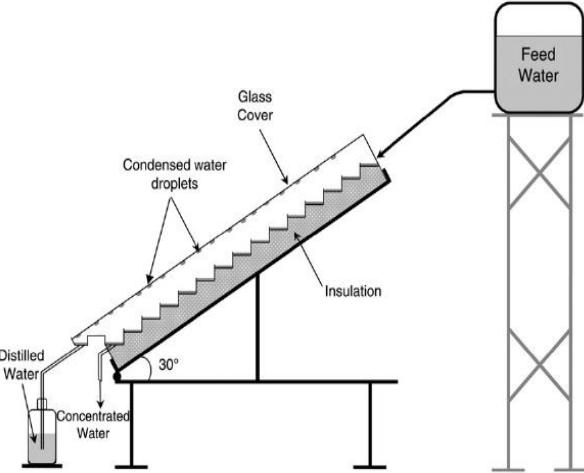
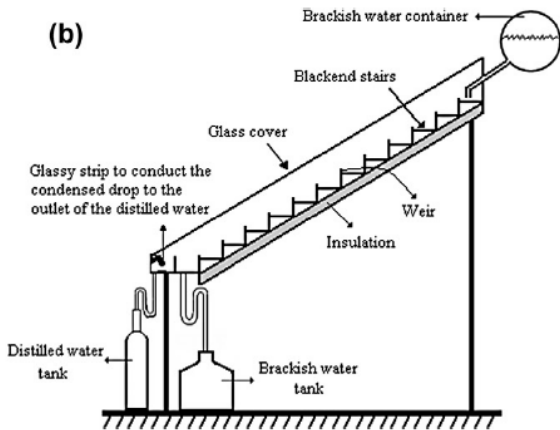
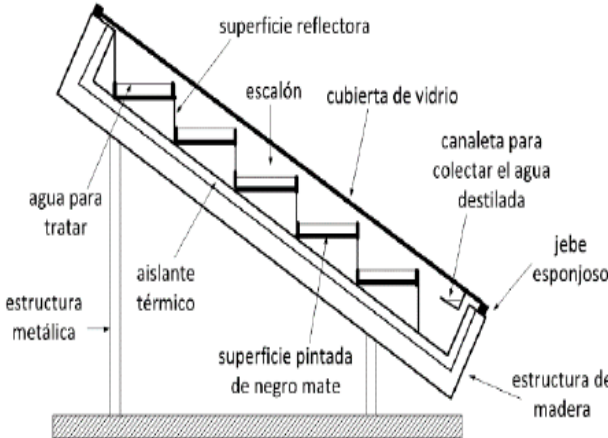


Figura. 7 Sistema de destilación con destilador solar tipo cascada [25].

Autor	Figuras	Modificación	Productividad Diaria	Conclusiones
<p>Farshad Farshchi et al. [4]</p> <p>Estudio experimental acerca de un destilador solar tipo cascada acoplado con un sistema de humidificación - deshumidificación</p>		<p>Destilador solar tipo cascada acoplado con un sistema de humidificación – deshumidificación para prevenir la perdida de agua caliente mejorando el rendimiento del sistema.</p>	<p>150 $\left(\frac{ml}{min}\right)$</p>	<p>La productividad diaria de este destilador con esta modificación logro incrementar de 40 – 150 $\left(\frac{ml}{min}\right)$.</p>
<p>Farshad Farshchi et al. [21]</p> <p>Efecto del caudal de agua sobre el calor interno y la transferencia de masa y la productividad diaria de un destilador solar tipo cascada</p>		<p>Destilador solar tipo cascada acoplado a un sistema tipo presa.</p>	<p>7.4 y 4.3 $\left(\frac{Kg}{m^2 dia}\right)$</p>	<p>Usando el sistema tipo presa y doblando ligeramente los vértices de cada depósito el fluido se ve forzado a una mejor distribución de agua sobre el área de evaporación.</p>

Autor	Figuras	Modificación	Productividad Diaria	Conclusiones
<p>Fatemeh Bakhtiari <i>et al.</i> [22]</p> <p>Estudio teórico y experimental de los destiladores solares tipo cascada</p>	<p>(b)</p> 	<p>El deposito inferior fue eliminado debido a una gran formación de incrustaciones además que los tubos de recolección del destilado y agua salubre caliente fueron modificados teniendo un diseño final en forma de U evitando el escape de vapor en las salidas.</p>	$6.7 \left(\frac{l}{m^2 dia} \right)$	<p>En comparación con el diseño inicial se incrementó la producción de agua dulce en un 26%, la conductividad del agua destilada se redujo de</p> $10 \text{ a } 20 \left(\frac{\mu S}{cm} \right)$ <p>que es un rango aceptable en el estudio de los destiladores solares.</p>
<p>Erich Saettone [23]</p> <p>Destilador de bandejas escalonado modificado</p>		<p>La diferencia de un destilador de bandeja escalonada convencional es que presenta paredes reflectoras adyacentes a cada escalón, de tal forma que intensifica la radiación solar.</p>	3.6 (l)	<p>Su eficiencia aumento en un 4,42% comparado con el destilador solar tipo cascada convencional.</p>

1.4.4. Destilador solar esférico

Este modelo de destilador es más complejo que los mencionados anteriormente y su particularidad se basa en la geometría esférica del material transparente, que esta acoplado en su centro mediante una bandeja horizontal pintada de color negro mate además de la introducción de una barredera que rosa la cara interna de la esfera la cual se acciona mediante un motor. En la bandeja colocada en la parte central de la esfera de fondo oscuro se vierte el agua a destilar. La geometría particular de este modelo busca estimular la captación solar ya que se evitan sombras en alguna parte del destilador, por otro lado la forma esférica mantiene una mayor estabilidad en la inercia térmica lo que permite un mayor aprovechamiento del calor producido por la energía solar [26].

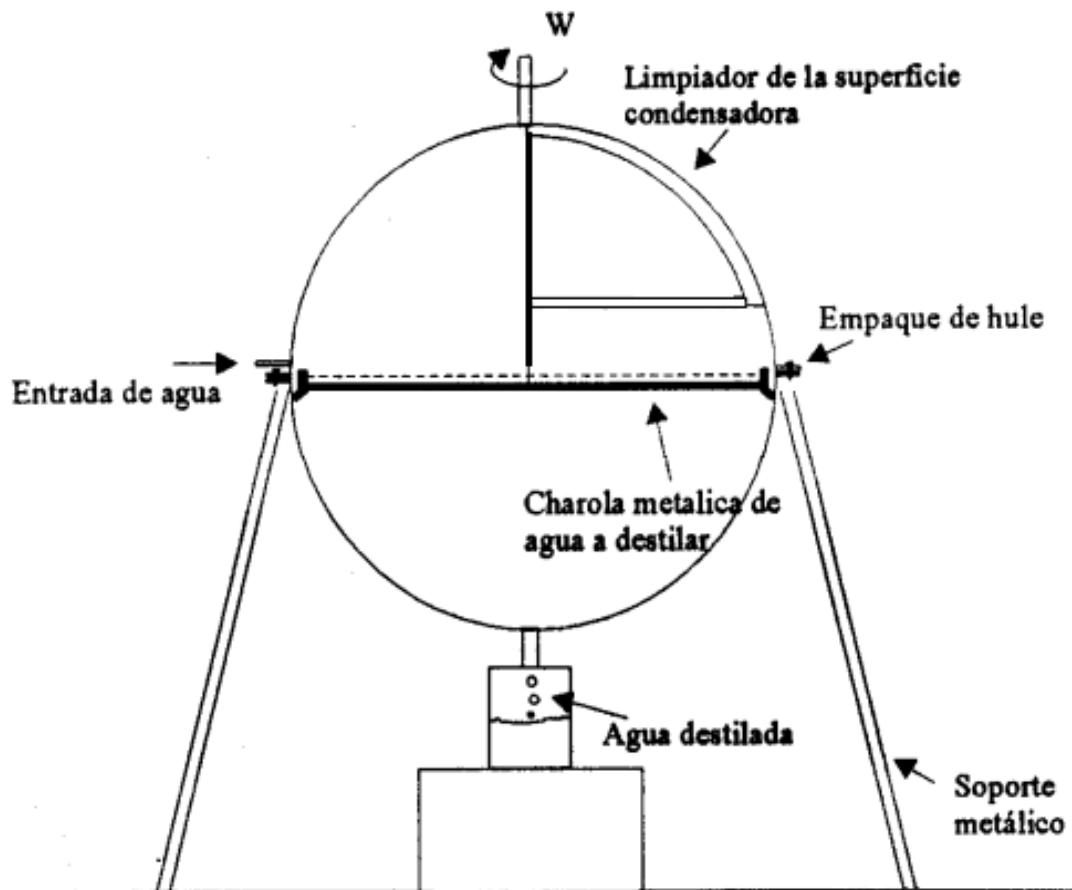


Figura. 8: Sistema de destilación solar esférico de barredera [27].

1.4. Materiales de construcción para destiladores solares

Algunos de estos materiales que se utilizan generalmente para la elaboración de diferentes destiladores solares, así como sus características más significativas se describen en la Tabla 2. [28]

Tabla 2. Características de los materiales más utilizados en destiladores solares [28], [29]

Uso en el destilador	Tipo de material	Características del material
Material para la cubierta	Plástico	Alta resistencia a la intemperie
	Polimetilmetacrilato	Alto índice de refracción
		Transparencia comprendida entre el 85 y el 92%, por lo que deja pasar casi todos los rayos UV
Material para tuberías de transporte		Difusión casi nula
	Vidrio	Resistente a los agentes químicos
		No contamina el agua destilada
	Cobre	Conductividad térmica elevada
		Elevado costo
Material para estructura de soporte	Aluminio	Alta conductividad
		Baja densidad
Material para aislamiento térmica		Estable al aire y resistente a la corrosión por el agua
	PVC	Resistente y ligero
		Alto aislamiento térmico
Material para estructura de soporte	ACERO inoxidable	No presenta corrosión
		Resistente a la intemperie
Material para aislamiento térmica	Hierro	Bajo costo
		Fácilmente oxidable.
	Fibra de vidrio	Soporta altas temperaturas
		Buen aislante térmico
Material para aislamiento térmica		Bajo costo
	Durapax	Alto aislamiento térmico
		Baja densidad
		Bajo costo

1.5. Características del Agua

El agua es uno de los recursos más abundantes y valiosos del planeta, se plantea que las próximas guerras serán por causa de este líquido que representa una gran incidencia en el desarrollo económico y social de los países. Como consecuencia, es uno de los líquidos más contaminados y alterados por sustancias como materia orgánica,

nutrientes, metal pesado; lo que hace que para su uso sea necesario realizar procesos de destilación [30].

Esa purificación puede ocurrir de forma natural, pero con el avance de la ciencia y la tecnología se acelera el ciclo del agua, generando mayor celeridad en su uso y potenciando, principalmente, el empleo de la energía renovable. En relación con los índices que debe presentar esos parámetros la American Society for Testing and Materials (ASTM), propone la siguiente clasificación:

Tabla 3. Índice de propiedades por tipos de agua [31]

Parámetros	Tipo I	Tipo II	Tipos Tipo III	Tipo IV
Conductividad eléctrica valor máximo a 25°C mS/cm	0.056	1.0	0.25	5.0
Resistividad mínima a 25°C MW	18	1.0	4.0	2.0
pH a 25°C				5.0 a 8.0
Carbono Orgánico Total (COT) valor máximo mg/l	50	50	200	No hay límite establecido
Sodio valor máximo mg/l	1	5	10	50
Cloruros valor máximo mg/l	1	5	10	50
Sílice Total valor máximo mg/l	3	3	500	No hay límite establecido

La clasificación anterior y los intereses del actual estudio, el agua que se obtenga luego del proceso de destilación a proponer, deberá presentar las propiedades descritas para el tipo IV.

1.6.1 Agua tipo IV

El grado de agua tipo IV puede prepararse por medio de destilación, intercambio iónico, osmosis electrodionización continua reversa, electrodiálisis, o una combinación de los mismos [31]. El proceso más común de obtención es mediante el

proceso de destilación, en el cual el agua se calienta hasta su punto de ebullición, sin embargo, durante el almacenamiento puede llegar a contaminarse por aberturas del contenedor o por desprendimiento de materiales del mismo dentro del agua [32]. Debido a las características de resistividad y conductividad que se puede apreciar en la tabla 3, el uso de este tipo de agua califica para ciertos procedimientos de enfriamiento como calderos, torres de enfriamiento, intercambiadores de calor, etc. Además de su uso común en lavado de cristalería [31-32].

1.7. Análisis de las alternativas

A continuación, se realiza la valoración de las diferentes alternativas para la construcción de un destilador solar para la obtención de $180 \frac{ml}{día}$ de agua tipo IV.

1.7.1. Identificación de necesidades

Para la identificación de las necesidades a satisfacer se considera los siguientes factores:

- **Rendimiento:** Los parámetros esenciales para un óptimo rendimiento serán: tipo de material, tiempo que demora la destilación de una cantidad de agua determinada, niveles de radiación necesarios.
- **Producción:** Al ser construido como prototipo para su futura implementación en un laboratorio, se necesita que el destilador sea de tamaño pequeño, cuya producción de agua destilada será directamente proporcional al área del destilador.
- **Simplicidad de operación:** Es necesario un prototipo sencillo, que sea fácil de utilizar, con el fin de emplearlo como material de implementación hacia sus empleados y operarios.
- **Mantenimiento:** Se debe estimar los costos de mantenimiento, las piezas de repuestos, y la facilidad de los procedimientos, ya que el destilador será de uso común para todo el personal del laboratorio para trabajo continuo, por lo que es importante evitar contratiempos que puedan afectar los resultados de las investigaciones.

- **Costos de Producción:** Al construir un destilador solar para su futura implementación en un laboratorio, se deberá considerar los costos de los ensayos que se requieran de este equipo.

Los factores mencionados anteriormente son de fundamental importancia para establecer un diseño definitivo, ya que valorando cada uno de estos, se logrará una mayor eficiencia en el proceso de destilación.

1.7.2. Alternativas de solución

Previo a la selección del destilador tipo cascada de este proyecto, se realizó una investigación de distintos tipos de destiladores, se empezó por los tres modelos fundamentales que se muestran a continuación en la Tabla 4.

En la investigación según Sahota *et al.* [20] se describen los beneficios de usar ciertos parámetros de diseño en el destilador de dos vertientes, enfatizando el color negro mate que debe tener la superficie de absorción, siendo el parámetro más importante que garantiza la máxima absorción de la radiación solar, coincidiendo con varios autores como Tabrizi *et al.* [21] y Farschchi *et al.* [4], en tener las mismas recomendaciones independientemente del tipo de destilador que sea y de los acoplamientos de diseño que se los pueda realizar. Conforme a Kumar *et al.* [34], los cuales describen un destilador solar de tipo esférico, recalca que al emplear una barredera su eficiencia aumentará debido al funcionamiento de la misma, la cual garantiza la precipitación más rápida hacia el fondo del sistema aumentando su eficiencia.

En la investigación desarrollada por Ziabari *et al.* [22], realizan un estudio completo acerca de las modificaciones posibles y más eficientes que se pueden realizar en un destilador solar tipo cascada, se mencionan distintas variantes del modelo, desde sus parámetros de funcionamiento, hasta la eficiencia obtenida con cada modificación impuesta, una de las más relevantes fue la utilización de aluminio adhesivo en lugar de silicón, ya que este se deteriora rápidamente con la exposición a la radiación solar, dicha investigación fue la más útil para la selección de nuestra alternativa.

Tabla 4. Alternativas de solución

Alternativas de solución	Características fundamentales	Esquema básico
Destilador de dos vertientes	La eficiencia de este modelo se basa fundamentalmente en la no existencia de paredes que puedan provocar sombras en algunas partes del destilador.	
Destilador tipo cascada	Su característica distintiva por encima de otros destiladores es la rapidez en la destilación dado la optimización de espacio a causa la disposición de las bandejas donde se deposita el agua para destilas	
Destilador esférico de barredera	La forma esférica mantiene una mayor estabilidad en la inercia térmica lo que permite un mayor aprovechamiento del calor producido por la energía solar	

1.7.3. Elección de la mejor alternativa para el diseño del destilador

Para la selección de la mejor alternativa se empleará un método cuantitativo, el mismo que se basa en una escala numérica que permite valorar los diferentes aspectos a

considerar de manera imparcial para cada alternativa. En la matriz de análisis se utilizará una escala del 1 al 5, donde:

- 5 = Excelente
- 4 = Muy buena
- 3 = Buena
- 2 = Mala
- 1 = Muy mala

Tabla 5. Análisis cuantitativo de las alternativas

Alternativas	Necesidades					Valor global	Valor porcentual
	Facilidad de operación	Facilidad de mantenimiento	Tamaño del prototipo	Control de parámetros	Economía		
Destilador de dos vertientes	5	4	3	4	4	20/25	80%
Destilador tipo cascada	4	5	4	4	4	21/25	84%
Destilador esférico de barredera	4	3	3	4	2	18/25	72%

Los argumentos de cada necesidad se presentan en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 6. Argumentos de cada necesidad

Necesidades	Argumento
Facilidad de operación	El funcionamiento es muy sencillo, evitando inconvenientes para el operador del equipo.
Facilidad de mantenimiento	Al emplear materiales de fácil adquisición y bajo costo, el mantenimiento del equipo resulta económico y fácil de realizar además de una estructura sencilla.
Tamaño	Debido a la cantidad de agua a destilar, el tamaño resulta pequeño, facilitando así su instalación y transporte

Control de parámetros

Los parámetros deberán estar dentro del rango correcto según los cálculos de diseño.

Economía

De acuerdo al tamaño y materiales empleados, su costo de implementación y construcción es viable.

Luego de analizados los resultados cuantitativos para las diferentes alternativas se establece que el modelo a elegir para la construcción del destilador es el tipo cascada, siendo la alternativa que mayor puntuación alcanzó del valor total como se muestra en la Tabla 5.

La viabilidad del presente proyecto se basa en que no existen investigaciones recientes de este modelo, además que los artículos científicos consultados indicaron que la producción de este tipo de destilador resulta ser eficiente, empleando una cubierta de evaporación lo más transparente posible, obscureciendo cada uno de los depósitos para mejorar la absorción, y procurar incrementar la capacidad de cada uno de ellos, facilitando así una mejor distribución de flujo, así como la rapidez de destilación. A partir de la selección del diseño se puede comenzar con los cálculos necesarios para su construcción y puesta en funcionamiento.

Cabe recalcar que el análisis de las alternativas para el diseño del destilador solar permite obtener un mayor conocimiento teórico del funcionamiento de cada uno de estos equipos, lo que incide de manera favorable tanto en la construcción como en la puesta en marcha del prototipo.

Conclusiones del capítulo.

Mediante la investigación de distintos proyectos desarrollados a nivel mundial sobre destiladores solares, se obtuvo características importantes a nivel de construcción y ensamblaje, dentro de los destiladores del tipo cascada, uno de los parámetros más relevantes fueron los encontrados en la investigación de Saettone *et al.* [23], donde en su prototipo los depósitos se pintaron de negro mate, con el fin de lograr una mayor absorción de calor, así mismo existieron datos relevantes dentro del ámbito de diseño, como lo menciona Tabrizi *et al.* [21] que al doblar ligeramente los vértices de los depósitos, el caudal se ve forzado a una mejor distribución, además de procurar que la estructura forme un ángulo de 45° con la horizontal, garantizando así una mejor captación de calor.

CAPÍTULO II

En este capítulo se van a desarrollar todos los parámetros requeridos para el diseño del destilador tipo cascada. Como también, se va a definir o seleccionar un modelo matemático ya existente para el diseño y la construcción del mismo.

2.1 Características del diseño

El destilador tipo cascada trabaja con el fluido estático en cada escalón de tal forma que al entrar en contacto con la radiación solar llega a una temperatura de evaporación, que asciende a la superficie donde se condensa y desciende hacia un canal donde se recolecta el agua destilada. Las características de diseño para este tipo de destilador se mencionan a continuación.

2.2 Ángulo de inclinación del destilador

Para tener una buena eficiencia del destilador se debe calcular el ángulo óptimo de inclinación, para ello hay que considerar factores como: la configuración del equipo y el tiempo de exposición durante todo el día. Según Kalogirou [35] para determinar el ángulo de incidencia solar sobre una superficie (θ) se debe analizar su posición la misma que se encuentra comprendido entre la normal de la superficie incidente y la dirección solar. En el esquema de la Figura 9 se puede apreciar la superficie dónde se encuentran los ángulos que intervienen para su cálculo.

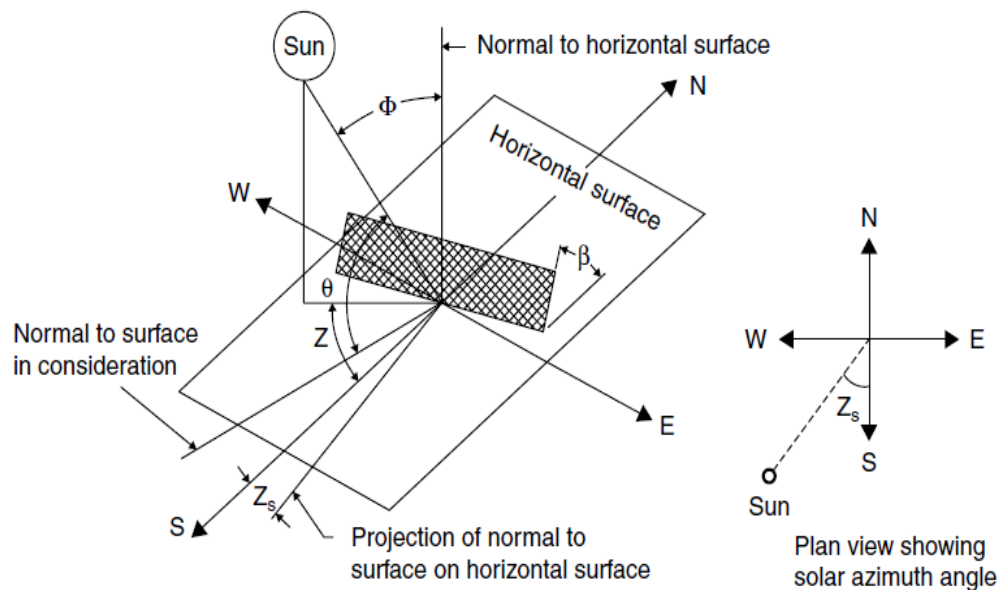


Figura. 9 Diagrama de ángulos [35].

El ángulo de incidencia para una superficie que se orienta en cualquier dirección se expresa con la siguiente relación matemática [36], que se obtiene del diagrama de ángulos de la Figura 9.

$$\begin{aligned}\cos\theta = & \text{sen}(\delta)\text{sen}(\phi)\cos(\beta) - \text{sen}(\delta)\cos(\phi)\text{sen}(\beta)\cos(Zs) + \cos(\delta)\cos(\phi)\cos(\beta)\cos(\omega) \\ & + \cos(\delta)\text{sen}(\phi)\text{sen}(\beta)\cos(Zs)\cos(\omega) + \cos(\delta)\text{sen}(\beta)\text{sen}(Zs)\text{sen}(\omega)\end{aligned}\quad (1)$$

Donde:

ω : Ángulo horario

δ : Ángulo de inclinación de los rayos solares

ϕ : Ángulo de latitud para Quito

β : Ángulo de inclinación de la superficie con respecto a la horizontal

Zs : Ángulo azimut

Según Sengar *et al.* [36] se debe considerar la latitud para Quito de -0.22985 (N 13.79° S). Mientras que el ángulo azimut, conforme a Kalogirou [35] es aquel que forma la tierra y el norte o el sur, debido a que en este país se encuentra ubicado en la línea ecuatorial, el ángulo llega a ser ($Zs = 0$), simplificándose la ecuación 1 a la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}\cos(\theta) = & \text{sen}(\phi)\text{sen}(\delta)\text{sen}(\beta) - \text{sen}(\delta)\cos(\phi)\text{sen}(\beta) + \cos(\delta)\cos(\phi)\cos(\beta)\cos(\omega) \\ & + \cos(\delta)\text{sen}(\phi)\text{sen}(\beta)\cos(\omega)\end{aligned}\quad (2)$$

Según Kalogirou *et al.* [35] y Sengar *et al.* [37] mediante las ecuaciones 3 y 4 que se indican a continuación se puede calcular el ángulo de inclinación de los rayos solares (δ) y el ángulo horario (ω).

$$\delta = 23.45\text{sen} \cdot \left[360 \frac{(284 + n)}{365} \right] \quad (3)$$

$$\omega = (AST - 12)15 \quad (4)$$

Donde:

n : Número de días (1 día hasta 365 días), como se lo observa en [35], se considera como 1 al primer día de enero y 365 al 31 de diciembre.

AST : Hora del día (1h hasta 24h)

De la ecuación 4, como se menciona en Çengel *et al.* [38] se calcula el ángulo horario de mayor impacto que tenga la radiación solar en un determinado tiempo. Para este proyecto se determinó 6 horas en las que se tiene mayor cantidad de impacto de radiación solar y son desde la 9 am hasta las 15 pm. Para ello se determina la cantidad de radiación total mediante la ecuación 5:

$$G_{total} = G_D \cdot \cos(\theta) + Gd \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (5)$$

Donde:

$$Gd : \text{Radiación Difusa; } \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$G_D : \text{Radiación directa; } \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Según Çengel *et al.*[38] la radiación difusa corresponde a la radiación que llega a la superficie terrestre de manera dispersa y en distintas direcciones y varía desde un 10% de la radiación total en un día totalmente claro hasta un 100% en un día nublado, casi en su totalidad. Mientras que, la directa es la que llega a determinada superficie sin que haya sido absorbida o dispersada por la superficie terrestre y viene en una sola dirección determinada por el ángulo de incidencia (θ).

Existe otro tipo de radiación como se menciona en Çengel *et al.* [38] la misma que es generada por la atmósfera denominada radiación cielo $G_{cielo} = \sigma \cdot T_{cielo}^4$. Para calcular el flujo de calor de radiación total neta mediante un balance energético en determinada superficie se expresa mediante la ecuación 6.

$$q_{neta,rad} = \alpha_s \cdot G_{total} + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{cielo}^4 - T_s^4) \quad (6)$$

Donde:

α_s : Absortividad de una superficie

G_{total} : Radiación total

ε : Emisividad de una superficie

σ : Constante de Boltzmann

T_{cielo} : Temperatura cielo

T_s : Temperatura de la superficie

De la Tabla 1 se obtiene los valores de radiación y se reemplazan en la ecuación 5, con el fin de asegurar una destilación se toma los valores mínimos de radiación. Los valores promedios de $\cos(\theta)$ en cada mes que se presentan en la Tabla A:2 del Anexo A también se reemplazan, obteniendo así las tablas de radiación promedio para los ángulos, tomando valores para el ángulo β comprendido entre (1° a 30°) las mismas que se encuentran en la Tabla A:3 del Anexo A. Es así que se genera la Tabla 7, llegando a ser un compendio entre los valores máximos y mínimos, extraídos de las tablas anteriormente mencionadas, teniendo así los siguientes datos:

Tabla 7. Radiación en una superficie Inclineda en ($W \cdot h \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$)

β°	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Agos	Sep
<i>Radiación total a las 12 am</i>									
1	1005	1137	2032	2283	1639	1679	2152	1406	2610
<i>Radiación total a las 11 am</i>									
20	971	1098	1963	2205	1583	1621	2078	1358	2521
<i>Radiación total a las 10 am</i>									
24	871	985	1760	1976	1418	1452	1861	1217	2260
<i>Radiación total a las 09am</i>									
28	713	805	1438	1612	1155	1183	1516	992	1845

En la Tabla 7 se puede observar que la radiación total máxima a las 12 del día se obtiene cuando ángulo de $\beta = 1^\circ$. Sin embargo, en el período de 9 a 12 se tiene ángulos de (28, 24 y 20) es así que para determinar el ángulo ideal para el equipo se suma los ángulos de los valores obtenidos a las 9, 10 y 11 de la mañana y se saca un promedio. El valor obtenido es 24° y es el ángulo óptimo que tendrá la cascada en este proyecto.

2.3 Dimensiones del destilador

Al ser un trabajo práctico-experimental, de la capacidad máxima de destilación de 180 ml/día , se considera un 20 % de pérdidas de producción.

Este tipo de pérdidas se puede generar por:

- Aislamientos mal instalados

- Fugas del vapor de agua por la cubierta
- Líquido que se queda adherido en los depósitos, tanto de los reservorios de la cascada como en los reservorios de agua destilada

A fin de calcular la capacidad de diseño del destilador se multiplica el volumen de producción por el porcentaje de pérdidas

$$180 \cdot (0.2) = 36 \text{ ml}$$

Se obtiene 36 ml, que deben ser añadidos al volumen de producción para obtener así la capacidad de diseño del destilador, es decir 216 ml. Con la finalidad de tener mayor viabilidad para el dimensionamiento del destilador se lo aproxima a 225 ml.

Para distribuir de forma uniforme se considera que el equipo tendrá, 5 recipientes y cada uno de ellos contendrá un volumen de 45 ml. Se estima que cada recipiente que estará albergado en el destilador según Montazeri *et al.* [39] debe tener las siguientes dimensiones: 5 cm de altura y 60 cm de ancho y largo, conforme al destilador tipo cascada que se construyó. En este proyecto se va a construir un equipo para laboratorio cuya producción de agua es pequeña, por lo que se toma el mismo ancho y la mitad de largo. Mientras que para la altura del depósito se asume 0.3 cm que fueron consideradas para que contenga una capacidad de 45 cm³, con el propósito de tener un área de contacto alta en un poco volumen de líquido, asegurando así la destilación del agua. En la Figura 10 se puede apreciar como estarán las dimensiones para cada recipiente.

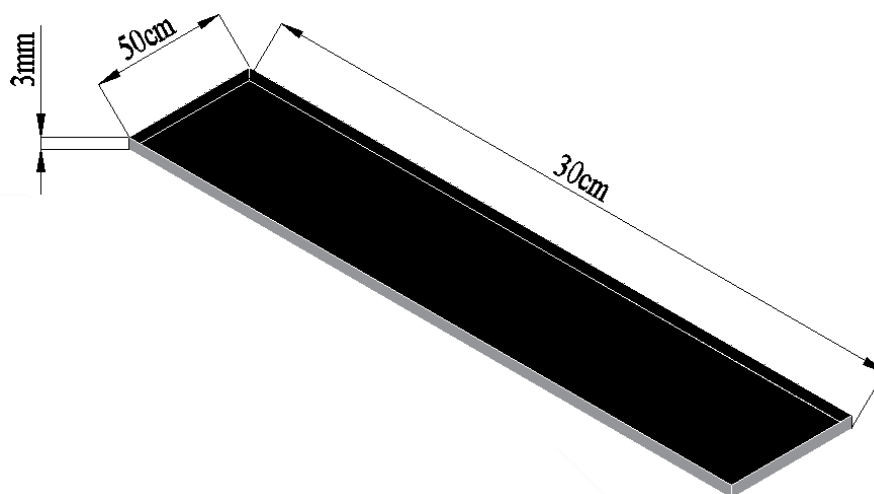


Figura. 10 Dimensiones de los recipientes del destilador

El presunto diseño garantiza que la configuración del destilador tenga mayor área de contacto. Así como también, se asume que tendrá 5 cm de separación longitudinalmente por cada depósito como se observa en la Figura 11. Y de acuerdo con Montazeri *et al.* [39] el ángulo entre la superficie inclinada y la superficie del depósito de agua es de 135° . Además, la longitud que tendrá la cubierta del destilador es de 660 mm, que está determinada para que cubra todos los recipientes del equipo.

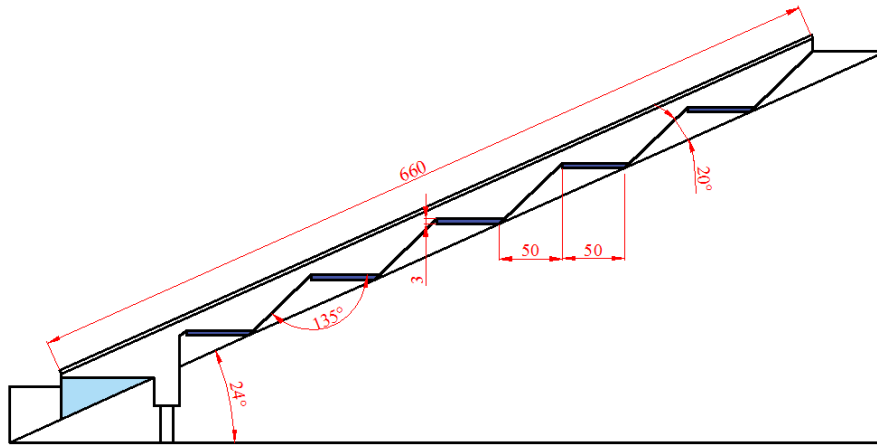


Figura. 11 Dimensiones del destilador

2.4 Fórmulas de aplicación para transferencia de calor y masa

Para determinar las fórmulas que se van a utilizar para el desarrollo del modelo matemático de transferencia de calor y masa, se utiliza la siguiente la Figura 12, en la cual se puede observar de forma esquematizada cómo se encuentran distribuidos los distintos parámetros energéticos, dependiendo de la superficie de la cubierta, agua y del área de contacto entre el agua y los depósitos.

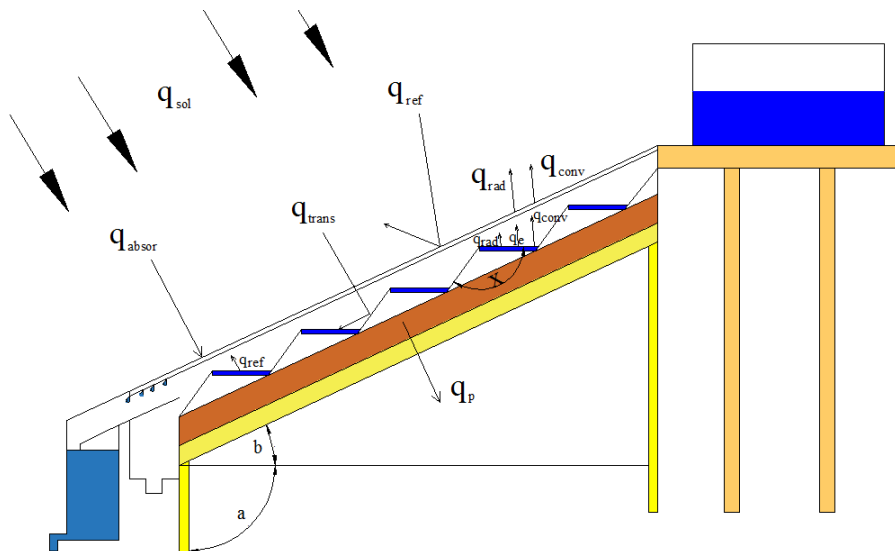


Figura. 12 Diagrama para el balance de energías del destilador

De la figura anterior se puede apreciar que q_{sol} es el flujo de calor obtenido de la radiación solar y puede ser calculada mediante la ecuación 6, la misma que al llegar a una superficie se divide en tres flujos de calor, entre los cuales se tiene: calor absorbido (q_{absor}), calor reflejado (q_{ref}) y calor transferido (q_{trans}).

El calor absorbido se presenta en forma de radiación, la misma que calienta la superficie de la cubierta, mientras que el calor reflejado actúa en forma de energía que se envía en otra dirección y no interviene en el destilador y finalmente el calor absorbido que actúa en forma de radiación transferida es el que llega al metal de los depósitos y los calienta, el metal caliente por medio de conducción y convección eleva la temperatura del agua hasta que se evapore, el agua evaporada asciende por variación de densidades hacia la superficie de la cubierta que al estar a menor temperatura condensa el agua y la convierte en líquido, la inclinación que tiene la cubierta permite la circulación del fluido y por efecto de la gravedad el agua destilada se dirige a un recolector ubicado en la parte inferior de la cubierta.

Finalmente, al permanecer caliente el metal de los depósitos genera un flujo de calor por conducción denominado (q_p) (*Flujo de calor que se pierde por la estructura*) el mismo que se dirige hacia el exterior. De la gráfica anterior se tiene que (a) es el ángulo formado entre la parte vertical de la estructura donde se sitúa el destilador con la base inclinada del destilador puede ser determinado mediante la siguiente suma $b + 90^\circ$, donde (b) corresponde a la inclinación del destilador, como se determinó en la tabla 7 se tiene que $b = \beta$, y finalmente se tiene (x), que corresponde al ángulo que se encuentra entre la superficie inclinada que separa los depósitos y la superficie horizontal, como se aprecia en la Figura 11.

2.5 Balance de energía en la cubierta

Para determinar la ecuación 7, del balance de energía en la superficie de la cubierta, observando la Figura 12, se suma los valores de flujo de energía que impactan directamente en la superficie y se restan los que se desprenden de la misma. De acuerdo con Elango *et al.* [40] para lograr una mayor comprensión de la formulación

encontrada, se utiliza nuestra propia nomenclatura teniendo así los siguientes coeficientes: evaporación (e), agua (a) y cubierta (c).

$$q_e + q_{conv,a-c} + q_{rad,a-c} - q_{rad,c-aire} - q_{conv,c-aire} + \alpha_c \cdot G = m_c \cdot C_{P,c} \cdot \frac{dT_c}{dt} \quad (7)$$

Donde:

q_e : Flujo de calor por evaporación

$q_{conv,a-c}$: Flujo de calor por convección entre la superficie del agua-cubierta

$q_{rad,a-c}$: Flujo de calor por radiación entre la superficie del agua-cubierta

$q_{rad,c-aire}$: Flujo de calor por radiación entre la cubierta-aire

$q_{conv,c-aire}$: Flujo de calor por convección entre la cubierta-aire

α_c : Absortividad de la cubierta

m_c : Masa de la cubierta

$C_{P,c}$: Calor específico de cubierta a presión constante

G : Radiación total, ver ecuación 6

$\frac{dT_c}{dt}$: Diferencial de temperatura en la cubierta

Conforme con Montazeri *et al.* [39] el flujo de calor por evaporación se determina con la ecuación 8, que es el producto de la masa neta de agua transferida de los recipientes a la superficie transparente \dot{m}_e y la entalpía de vaporización del agua h_{fg} .

$$q_e = \dot{m}_e \cdot h_{fg} \quad (8)$$

Para determinar el flujo de calor por convección, para cada etapa en el destilador se tiene las siguientes ecuaciones 9 y 10, como se observó en Mahian *et al.* [41] se emplean los subíndices s y ∞ , los mismos que significan superficie y fluido respectivamente.

$$q_{conv,a-c} = h_{conv,a-c} \cdot (T_a - T_{s,c}) \quad (9)$$

$$q_{conv,c-aire} = h_{conv,c-aire} \cdot (T_{s,c} - T_{\infty,aire}) \quad (10)$$

Donde:

$h_{conv,a-c}$: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre agua-cubierta

$h_{conv,c-aire}$: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre cubierta-aire

T_a : Temperatura del agua

$T_{s,c}$: Temperatura de la superficie de la cubierta

$T_{\infty,aire}$: Temperatura del aire

Mientras que para obtener los valores de flujo de calor para la radiación según Mahian – Incropera *et al.* [40-41] se lo puede deducir por las siguientes expresiones, considerando el valor de la emisividad que se define en el siguiente literal:

$$q_{rad,a-c} = h_{rad,a-c} \cdot (T_a - T_{alred,int}) \quad (11)$$

$$q_{rad,c-aire} = h_{rad,c-aire} \cdot (T_{s,c} - T_{alred}) \quad (12)$$

Donde

$h_{rad,a-c}$: Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre agua-cubierta

$h_{rad,c-aire}$: Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre cubierta-aire

2.5.1 Coeficientes de transferencia de calor por radiación

Mediante la ecuación 13 se pueden determinar las siguientes expresiones $h_{rad,c-aire}$ y $h_{rad,a-c}$, con la única diferencia según Incropera *et al.* [42], para determinar $h_{rad,c-aire}$ se debe realizar la operación con ε_c , y para $h_{rad,a-c}$ se debe utilizar la emisividad ε_a , considerando la constante de Stefan – Boltzmann la misma que tiene el siguiente valor

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right].$$

$$h_{rad} = \frac{\varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{s,c}^4 - T_{alred}^4)}{T_{s,c} - T_{alred}} \quad (13)$$

2.5.2 Coeficientes de transferencia de calor por convección $h_{conv,a-c}$ y $h_{conv,c-aire}$

Conforme a Kalogirou – Tsilingiris *et al.* [42-43] para superficies planas el coeficiente de transferencia de calor por convección se determina mediante la ecuación 14.

$$h_{conv} = \frac{k_f}{L} \cdot Nu \quad (14)$$

Se puede observar que h_{conv} depende de la conductividad térmica del fluido (k_f), además, de la longitud característica de la superficie (L) (Área de cubierta sobre el perímetro de cubierta) y del número de Nusselt (Nu).

2.5.3 Número de Nusselt

Este número es adimensional conforme se lo analiza en Incropera [42] y se lo emplea para determinar el incremento ocurrido durante la transferencia de calor en determinadas superficies por donde circula un fluido, puede ser encontrado dependiendo el número de Rayleigh como se puede ver en las siguientes ecuaciones (15), (16) y (17) para placa horizontal:

$$Nu = 0.15 \cdot (Ra)^{1/3} \quad 10^7 \leq Ra \leq 10^{11} \quad (15)$$

$$Nu = 0.54 \cdot (Ra)^{1/4} \quad 10^4 \leq Ra \leq 10^7 \quad (16)$$

$$Nu = 0.27 \cdot (Ra)^{1/4} \quad 10^5 \leq Ra \leq 10^{10} \quad (17)$$

2.5.4 Número de Rayleigh

Al igual que al número de Nusselt se lo considera adimensional, y está vinculado a la transferencia de calor que ocurre en un fluido, como se puede observar en las ecuaciones anteriores, según Kreith *et al.* [45] si el número de Rayleigh se encuentra dentro de un rango determinado la transferencia de calor se da por convección caso contrario se da por conducción. Y se expresa mediante la siguiente ecuación que dependen de los números adimensionales de Grashof y Prandtl.

$$Ra = G_r \cdot P_r \quad (18)$$

2.5.5 Número Grashof

Del mismo modo que el número Reynolds en convección forzada, conforme a Tabrizi *et al.* [21] este valor otorga una medida que indica la diferencia que existe entre las fuerzas de empuje y viscosas que tiene un fluido en convección libre. Se determina mediante la siguiente ecuación.

$$G_r = \frac{g \cdot B \cdot (T_{s,c} - T_{\infty,aire}) \cdot L^3}{\nu^2} \quad (19)$$

Donde:

g : Gravedad

B : Coeficiente de dilatación térmica

ν : Viscosidad cinemática

2.5.6 Número de Prandtl

Este número vincula las características térmicas con las hidrodinámicas en la transferencia de calor, conforme Kreith *et al.* – Rahman *et al.* [45-46] y sus expresiones se determinan mediante el producto entre el calor específico y la viscosidad del fluido y se divide para la conductividad térmica del fluido. Como se muestra en la ecuación 20.

$$P_r = \frac{C_p \cdot \mu}{\kappa_f} \quad (20)$$

2.6 Balance de energía para el agua de cada depósito del equipo

Para el desarrollo de esta expresión matemática se analiza la Figura 12, como sugiere Ziabari *et al.* - Sathyamurthy *et al.* [22-46] se debe analizar todos los flujos de calor que se dan en el espacio que se tiene entre la cubierta y los depósitos de agua. Con el fin de entender mejor la ecuación 21, para este balance de energía se tiene: el subíndice (d) que significa fondo del depósito de agua y m_a es la masa del agua.

$$\alpha_a \cdot \tau_c \cdot G + q_{conv,d-a} - q_e - q_{conv,a-c} - q_{rad,a-c} = m_a \cdot C_{P,a} \cdot \frac{dT_a}{dt} \quad (21)$$

Donde:

τ_c : Transmisividad de la cubierta.

α_a : Absortividad del agua.

$\frac{dT_a}{dt}$: Diferencial de temperatura en el agua

Los flujos de calor (q_e , $q_{rad,a-c}$ y $q_{conv,a-c}$) pueden ser obtenidas de las ecuaciones 8, 9 y 11. Mientras que el flujo de calor del fondo del depósito a la superficie del agua se determina según Tsilingiris [44] con la siguiente expresión:

$$q_{conv,d-a} = h_{conv,d-a} (T_{s,d} - T_{\infty,agua}) \quad (22)$$

Para determinar $h_{conv,d-a}$ se puede utilizar la ecuación 14, con todo el proceso que conlleva determinar la misma.

Donde:

$h_{conv,d-a}$: Coeficiente de transferencia de calor de fondo del depósito a la superficie del agua.

$T_{s,d}$: Temperatura de la superficie del depósito.

2.7 Balance de energía para cada depósito de la cascada

Por último, para encontrar la ecuación del balance de energía para los depósitos y la superficie estructural, según Edalatpour *et al.* – Sebaai *et al.* [25-47], se debe realizar un análisis donde se añada la energía ganada por el agua y las pérdidas de energía que se dan por la superficie de la estructura en general q_p

$$\alpha_d \cdot \tau_c \cdot \tau_a \cdot G - q_{conv,d-a} - q_p = m_d \cdot C_{p,d} \cdot \frac{dT_d}{dt} \quad (23)$$

En esta expresión matemática se tiene que α_d es la absortividad de la estructura que forman los depósitos de agua, τ_c, τ_a la transmisividad de la cubierta y el agua, $q_{conv,d-a}$ flujo de calor por convección del agua y q_p flujo de calor que se pierde por la estructura para determinar este flujo se debe hacer un análisis con resistencias térmicas.

2.7.1 Flujo de calor que se pierde q_p

Para determinar las ecuaciones que se pueden aplicar en el flujo de calor que se pierde, se hace el análisis mediante el esquema representado en la siguiente Figura:

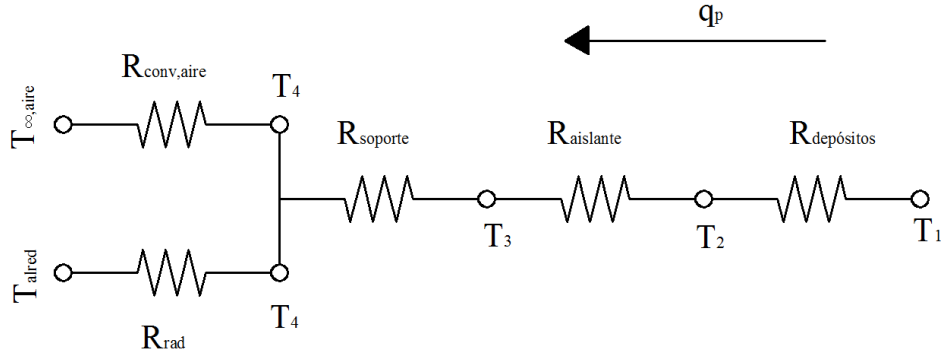


Figura. 13 Resistencias térmicas para calcular el flujo de calor que se pierde

De la Figura anterior se puede determinar ecuación 24. Conforme lo menciona Azari [49] para el presente estudio se debe considerar que $T_{alred} = T_{aire}$

$$q_p = \frac{T_{\infty,agua} - T_{alred}}{R_{Total}} \quad (24)$$

Según Verde *et al.* – Jacinto [49-50], la resistencia total R_{Total} se puede obtener al desarrollar el denominador de la ecuación 24 y queda expresado de la siguiente forma:

$$R_{Total} = \frac{1}{h_{conv,a} \cdot A} + \frac{L_d}{k_d \cdot A} + \frac{L_{aislante}}{k_{aislante} \cdot A} + \frac{L_{soporte}}{k_{soporte} \cdot A} + \frac{R_{cr}}{A} \quad (25)$$

Donde:

L_d : Espesor del acero de los depósitos

$L_{aislante}$: Espesor del aislante

$L_{soporte}$: Espesor del soporte

A : Área superficial de cada material

k_d : Conductividad del acero del depósito

$k_{aislante}$: Conductividad del aislante

$k_{soporte}$: Conductividad del soporte.

R_{cr} es la resistencia de convección y radiación

Al encontrarse las resistencias en paralelo se deben desarrollar mediante el esquema de la Figura 13, que según Çengel *et al.* [38] se expresa como se muestra en la ecuación 26.

$$R_{cr} = \frac{R_{conv,aire} \cdot R_{rad,aire}}{R_{conv,aire} + R_{rad,aire}} \quad (26)$$

Como realiza Yadav *et al.* [37], para determinar las resistencias de convección y de radiación que se tiene en la superficie del soporte se parte mediante las ecuaciones 27 y 28.

$$R_{rad,aire} = \frac{1}{h_{rad,aire} \cdot A} \quad (27)$$

$$R_{conv,a} = \frac{1}{h_{conv,aire} \cdot A} \quad (28)$$

Para calcular los coeficientes de transferencia de calor por radiación y convección se puede utilizar las ecuaciones 9 y 11, mientras que A es el área superficial en el soporte. Del mismo modo se sobre entiende que tanto el área en la estructura del depósito aislante como la del soporte son las mismas.

2.8 Modelo matemático establecido y resultados de los cálculos.

Se empieza analizando todos los parámetros de las distintas ecuaciones de balance de energía que son: flujo de calor por evaporación, flujos de calor por convección, flujos de calor por radiaciones, radiación y flujo de calor que se pierde.

2.8.1 Flujo de calor por evaporación

Para estimar este flujo según Çengel *et al.*[38] se debe considerar la masa de aire que se transmite por convección libre entre la superficie del agua y la cubierta. La misma que se determina con la siguiente ecuación.

$$\dot{m}_{aire,int} = \frac{q_{conv,a-c}}{C_{p,a} \cdot (T_a - T_{s,c})} \quad (29)$$

Al reemplazar la ecuación 9 en la 29 se tiene

$$\dot{m}_{aire,int} = \frac{h_{conv,a-c}}{C_{p,a}} \quad (30)$$

Se considera que el aire que está entre la cubierta y los depósitos de agua se encuentra saturado y según Çengel *et al.* [38] adquiere el nombre de (humedad específica) y para determinarla se usa la expresión 31.

$$\frac{\dot{m}_{a-c}}{\dot{m}_{aire,int}} = \frac{M_a}{M_{aire}} \cdot \left(\frac{P_a}{P_T - P_a} \right) \quad (31)$$

De la ecuación anterior se tiene: Presión de vapor del agua (P_a), Presión atmosférica (P_T) y el peso molecular de agua y del aire (M_a y M_{aire}). Si se reemplaza la ecuación 30 en la 31 y se obtiene la ecuación 32 que es la masa de agua que va desde los depósitos hasta la cubierta (\dot{m}_{a-c}). Sin embargo, también se debe considerar que hay líquido que retorna y que debe ser calculado con la ecuación 33 que es equivalente a la (ecuación 32). Donde (P_c) es la presión de vapor de la cubierta.

$$\dot{m}_{a-c} = \frac{h_{conv,a-c}}{C_{p,a}} \cdot \left(\frac{M_a}{M_{aire}} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{P_T - P_a} \right) \quad (32)$$

$$\dot{m}_{c-a} = \frac{h_{conv,a-c}}{C_{p,a}} \cdot \left(\frac{M_a}{M_{aire}} \right) \cdot \left(\frac{P_c}{P_T - P_c} \right) \quad (33)$$

Para calcular el flujo másico de agua neta transferida de los recipientes a la superficie transparente (\dot{m}_e), conforme a Agouz *et al.* [52] hay que restar la masa de agua que va a la superficie de la masa de agua que retorna:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_{a-c} - \dot{m}_{c-a} \quad (34)$$

Al reemplazar las ecuaciones 32, 33 en la 34 se tiene que:

$$\dot{m}_e = \frac{h_{conv,a-c}}{C_{p,a}} \left[\left(\frac{M_a}{M_{aire}} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{P_T - P_a} - \frac{P_c}{P_T - P_c} \right) \right] \quad (35)$$

Al desarrollar la ecuación 35 se obtiene:

$$\dot{m}_e = \frac{h_{conv,a-c}}{C_{p,a}} \left[\left(\frac{M_a}{M_{aire}} \right) \cdot \left(\frac{P_T (P_a - P_c)}{(P_T - P_a)(P_T - P_c)} \right) \right] \quad (36)$$

La ecuación 37, también permite determinar el flujo de calor por evaporación.

Donde se tiene el producto del coeficiente de evaporación y la diferencia de temperaturas entre el agua y la cubierta.

$$q_e = h_e \cdot (T_a - T_{s,c}) \quad (37)$$

Igualar la ecuación 8 y 37 se tiene.

$$\dot{m}_e \cdot h_{fg} = h_e \cdot (T_a - T_{s,c}) \quad (38)$$

Finalmente, reemplazando los valores de la ecuación 36 en la 38 se tiene la ecuación 39 que engloba todos los parámetros y que permitirá calcular el coeficiente de transferencia de calor por evaporación.

$$h_e = \frac{M_a \cdot P_T \cdot h_{fg}}{M_{aire} \cdot (P_T - P_a) \cdot (P_T - P_c) \cdot C_{p,a}} \cdot h_{conv,a-c} \cdot \left(\frac{P_a - P_c}{T_a - T_{s,c}} \right) \quad (39)$$

Según el modelo matemático que evalúa la transferencia de calor para destiladores solares, que fue desarrollado por Dunkle en 1961 y que es utilizado por la mayoría de documentos científicos actuales como en Elango *et al.* [40], se determina el coeficiente de transferencia de calor por evaporación, que está especificado por la siguiente ecuación:

$$h_e = 0.0163 \cdot h_{conv,a-c} \cdot \left(\frac{P_a - P_c}{T_a - T_{s,c}} \right) \quad (40)$$

Conforme a Yadav *et al.* [53] al reemplazar la ecuación 40 en la 37 se tiene:

$$q_e = 0.0163 \cdot h_{conv,a-c} \cdot (P_a - P_c) \quad (41)$$

Para determinar el flujo de masa de agua de los depósitos a la cubierta según Chen *et al.* [54] se iguala las ecuaciones 8 y 41, obteniendo la ecuación 42.

$$\dot{m}_e = 0.0163 \cdot (P_a - P_c) \cdot \frac{h_{conv,a-c}}{h_{fg}} \quad (42)$$

Para el desarrollo de la ecuación 42 se tiene las expresiones de: presión de vapor del agua, presión de la cubierta y la entalpía de formación de vapor, como se puede apreciar en las ecuaciones 43, 44, 45, que según Edalatpour *et al.* [25] se encuentran en función de las temperaturas tanto del agua como de la cubierta.

$$P_a = e^{\left(25.317 - \frac{5144}{T_a + 273}\right)} \quad (43)$$

$$P_c = e^{\left(25.317 - \frac{5144}{T_{s,c} + 273}\right)} \quad (44)$$

$$h_{fg} = (2501.67 - 2.389 T_a) \times 10^3 \quad (45)$$

2.8.2 Flujos de calor por convección entre el agua y la cubierta

Según Yadav *et al.* – Chen *et al.* [53-54] se lo denomina como $q_{conv,a-c}$ y se lo emplea para el desarrollo del flujo de calor por convección, que se tiene entre el agua y la cubierta. De la ecuación 9 se debe desarrollar primero $h_{conv,a-c}$ y se puede determinar por la ecuación 46:

$$h_{conv,a-c} = 0.884 \cdot \left[(T_a - T_{s,c}) + \frac{P_a - P_c}{268.9 \times 10^3 - P_a} \cdot (T_a + 273) \right]^{1/3} \quad (46)$$

Conforme a Sharshir *et al.* [55] se reemplaza la ecuación 46 en la 9, obteniendo:

$$q_{conv,a-c} = 0.884 \cdot \left[(T_a - T_{s,c}) + \frac{P_a - P_c}{268.9 \times 10^3 - P_a} \cdot (T_a + 273) \right]^{1/3} \cdot (T_a - T_{s,c}) \quad (47)$$

Donde los valores de P_a y P_c se calculan con las ecuaciones 43 y 44.

2.8.3 Flujo de calor por convección entre la cubierta y el medio exterior

Según Xiao *et al.* [56] se lo denomina como $q_{conv,c-aire}$ y se debe partir de la ecuación 14, donde se debe calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección $h_{conv,c-aire}$, que está entre la superficie de la cubierta y el medio exterior, el mismo que está relacionado con las siguientes ecuaciones:

$$h_{conv,c-aire} = 2.8 + 3 \cdot V \quad si \quad V \leq 5 \frac{m}{s} \quad (48)$$

$$h_{conv,c-aire} = 6.15 \cdot V^{0.8} \quad si \quad V > 5 \frac{m}{s} \quad (49)$$

Donde (V) es la velocidad del viento y según Kalogirou [57] está relacionado con el coeficiente de transferencia de calor de convección del viento (h_v).

$$h_v = \frac{8.6 \cdot V^{0.6}}{L^{0.4}} \quad (50)$$

El valor mínimo del coeficiente de transferencia de calor del viento es ($5 W \cdot m^{-2}$) como se menciona en Kalogirou [57]. La ecuación 50 y el valor del coeficiente según Incropera *et al.* [42] son un estimado para el cálculo en destiladores solares. En el cual (L) es la longitud característica.

$$L = \frac{A_s}{P} \quad (51)$$

Donde (A_s) es el área de la superficie de la cubierta y (P) el perímetro de la cubierta. De la Figura 10 se obtiene el ancho de la cubierta que es (300 mm) y de la misma se puede acceder a la longitud que es (660 mm). Reemplazando los valores en la ecuación 51 se obtiene.

$$L = \frac{(300 \times 660)}{(2 \times 300) + (2 \times 600)} = 104.21 \text{ mm} \rightarrow 0.10421 \text{ m} \quad (52)$$

De la ecuación 50 se despeja V y se reemplaza los valores de h_v y L .

$$V = \left(\frac{h_v \cdot L^{0.4}}{8.6} \right)^{\frac{1}{0.6}} = \left(\frac{5 \times 0.10421^{0.4}}{8.6} \right)^{\frac{1}{0.6}} = 0.09 \frac{m}{s} \quad (53)$$

El flujo de calor por convección $q_{conv,c-aire}$, queda expresado mediante la siguiente ecuación.

$$q_{conv,c-aire} = 3.07 \cdot (T_{s,c} - T_{\infty,aire}) \quad (54)$$

2.8.4 Flujo de calor por convección entre el depósito y el agua

Conforme a Xiao *et al.* [56] se lo denomina como $q_{conv,d-a}$ y se lo obtiene a partir de la ecuación 22, donde primero se debe calcular el coeficiente de transferencia de calor del depósito al agua con la siguiente expresión:

$$h_{conv,d-a} = \frac{k_{f,a} \cdot Nu}{L} \quad (55)$$

Donde el número de Nusselt se encuentra con las ecuaciones (15, 16 y 17) dependiendo del número de Rayleigh, que se encuentra expresado en la ecuación 18. Según Tsilingiris [44], también puede ser expresada con la siguiente expresión:

$$Ra = \frac{g \cdot B \cdot (T_{s,b} - T_a) \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha_{ci}} \quad (56)$$

Los términos α_{ci}, ν y B son: la difusividad térmica, la viscosidad dinámica y el coeficiente de dilatación que pueden ser determinados según Çengel *et al.* [38] a partir de la temperatura de película (T_M) que se la puede encontrar con la siguiente ecuación:

$$T_M = \frac{T_{s,b} + T_a}{2} \quad (57)$$

Para el agua se tiene la Tabla 8, como se menciona en Coronel *et al.* [58], esta puede ser accedida solo mediante T_M , para la obtención de α_{ci}, ν, B y k_f .

Tabla 8. Propiedades del agua líquida a presión atmosférica

Propiedades del agua líquida a presión atmosférica								
T	ρ	C_p	$\mu \times 10^6$	$\nu \times 10^6$	$k \times 10^3$	$\alpha_{ci} \times 10^6$	$B \times 10^3$	Pr
$^{\circ}C$	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	$\frac{N \cdot s}{m^2}$	$\frac{m^2}{s}$	$\frac{W}{m \cdot K}$	$\frac{m^2}{s}$	$\frac{1}{K}$	
0.001	1005	4.213	1766	1.757	567.2	0.1339	-0.08021	13.12
5	1004	4.201	1506	1.500	574.8	0.1363	0.01135	11
10	1003	4.191	1300	1.297	583	0.1387	0.08744	9.348
15	1001	4.184	1135	1.134	591.4	0.1412	0.1523	8.033
20	999.5	4.180	1001	1.001	599.8	0.1436	0.209	6.975
25	997.9	4.176	890.1	0.892	608	0.1459	0.2594	6.114
30	996.2	4.175	797.6	0.8007	616	0.1481	0.3051	5.406
35	994.3	4.174	719.6	0.7238	623.6	0.1503	0.347	4.817
40	992.4	4.174	653.3	0.6583	630.7	0.1523	0.3859	4.323

45	990.3	4.175	596.3	0.6022	637.4	0.1542	0.4225	3.906
50	988.1	4.177	547.1	0.5537	643.6	0.1559	0.4572	3.551
55	985.7	4.179	504.2	0.5115	649.3	0.1576	0.4903	3.245
60	983.2	4.182	466.6	0.4746	654.4	0.1592	0.5221	2.981
65	980.6	4.184	433.5	0.442	659.1	0.1606	0.5528	2.752
70	977.9	4.188	404.1	0.4132	663.2	0.162	0.5827	2.551
75	975	4.191	378	0.3877	666.9	0.1632	0.6118	2.375
80	971.9	4.195	354.6	0.3648	670.2	0.1644	0.6402	2.219
85	968.8	4.199	333.6	0.3443	673	0.1654	0.6682	2.081
90	965.5	4.204	314.6	0.3259	675.5	0.1664	0.6958	1.958
95	962.1	4.209	297.5	0.3092	677.5	0.1673	0.723	1.848
100	958.5	4.214	281.9	0.2941	679.3	0.1682	0.7501	1.749

2.8.5 Flujos de calor por radiación entre el agua y la cubierta ($q_{rad,a-c}$)

De la ecuación 11, se tiene $h_{rad,a-c}$ que según Yadav *et al.* – Aghaei *et al.* [51-59], puede ser determinado mediante la siguiente expresión 58.

$$h_{rad,a-c} = \left(\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_a} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \right) \cdot \sigma \cdot \left[(T_a^2 + T_{s,c}^2) \cdot (T_a + T_{s,c}) \right] \quad (58)$$

Según Srivastava *et al.* [60], la superficie del agua y de la cubierta son consideradas paralelas e infinitas. Por lo tanto, el flujo de calor $q_{rad,a-c}$, se determina con la ecuación 59.

El valor de 0,96 es un valor obtenido a partir de la ecuación 58.

$$q_{rad,a-c} = 0.96 \cdot \sigma \cdot (T_a^4 - T_{s,c}^4) \quad (59)$$

2.8.6 Flujo de calor por radiación que se desprende de la cubierta

Para determinar el flujo de calor por radiación que se desprende de la cubierta, es decir desde la cubierta hacia el medio exterior (aire) $q_{rad,c-aire}$ según Chen *et al.* [54] se reemplaza la ecuación 13 en la 12 dando como resultado la siguiente ecuación:

$$q_{rad,c-aire} = (\varepsilon_c) \cdot \sigma \cdot (T_{s,c}^4 - T_{alred}^4) \quad (60)$$

El valor para el medio y los alrededores según Srivastava *et al.* [60] corresponde a un valor de $0.552 \times T_{aire}^{1.5} = T_{alrededores}$ y según la organización de climatología [61], Quito se encuentra en un promedio anual de 14 °C en el ambiente.

2.8.7 Flujos de calor que se pierden

De la ecuación 25 el área se pasa a multiplicar por la resistencia total y se tiene la siguiente expresión:

$$A \cdot R_{Total} = \frac{1}{h_{conv,a}} + \frac{L_d}{k_d} + \frac{L_{aislante}}{k_{aislante}} + \frac{L_{soporte}}{k_{soporte}} + R_{conv,rad} \quad (61)$$

En este caso el coeficiente de convección del agua $h_{conv,a}$ se calcula mediante el reemplazo de las ecuaciones 19 y 20 en 18 y se obtiene la siguiente expresión.

$$Ra = \left[\frac{g \cdot B_a \cdot (T_a - T_{s,d}) \cdot (L_{aislante})^3 \cdot C_{p,a} \cdot \mu_a}{\nu_a^2 \cdot k_{fa}} \right] \quad (62)$$

Conforme a Incropera *et al.* – Malarria *et al.* [41-62] la viscosidad total del agua en función de la densidad equivale a:

$$\mu_a = \rho_a \cdot \nu_a \quad (63)$$

Para el análisis de la capa límite del fluido que se encuentra estancado en los depósitos, se determina que existe pérdidas de calor por convección libre la misma que al evaporarse según Incropera *et al.* [42] se considera como laminar, y el rango de número de Rayleigh se encuentra en el rango de la ecuación 15.

Al reemplazar la ecuación 62 en la 15 y la 63 en la 62 se tiene:

$$Nu = 0.15 \cdot \left[\left(\frac{g \cdot B_a \cdot (T_a - T_{s,d}) \cdot (L_{aislante})^3 \cdot C_{p,a} \cdot \rho_a}{\nu_a \cdot k_{fa}} \right)^{1/3} \right] \quad (64)$$

Por último, para determinar el $h_{conv,a}$, se reemplaza la ecuación 64 en la 14 obteniendo.

$$h_{conv,a} = \left[0.15 \cdot (k_{fa})^{2/3} \cdot \left(\frac{g \cdot B_a \cdot (T_a - T_{s,d}) \cdot C_{p,a} \cdot \rho_a}{\nu_a} \right)^{1/3} \right] \quad (65)$$

Las propiedades termo físicas del agua como son: coeficiente de dilatación térmica (B_a) y conductividad térmica (k_{fa}) según Incropera *et al.* [42] pueden ser calculados con las ecuaciones 63 y 64, mientras que la viscosidad dinámica según Avilez [63] se la puede determinar con la ecuación 65.

$$B_a = 6 \times 10^{-10} T_M^3 - 1.304 \times 10^{-7} T_M^2 + 1.5171 \times 10^{-5} T_M - 4.9548 \quad (66)$$

$$k_{fa} = -7.3 \times 10^{-6} T_M^2 + 1.8453 \times 10^{-3} T_M + 0.56939 \quad (67)$$

$$\nu_a = \left[\frac{D \times 10^{E/(T_M + 273 - F)}}{1 \times 10^7} \right] \quad (68)$$

Despejar y reemplazar los valores de las ecuaciones 66 y 67 en 65 se llega a obtener la ecuación 68, donde según Avilés [63] las constantes que interactúan poseen los siguientes valores: ($D = 239$), ($E = 248.37$) y ($F = 140$).

La conductividad térmica para el depósito, aislante y el soporte ($k_d, k_{aislante}$ y $k_{soporte}$) depende de las propiedades de cada uno de ellos, como también hay que considerar espesores para cada material ($L_d, L_{aislante}$ y $L_{soporte}$).

Finalmente, para calcular la Resistencia de conducción y radiación R_{cr} en la ecuación 26 se reemplaza las ecuaciones 27 y 28 que da la siguiente relación matemática.

$$R_{conv,rad} = \left[\frac{1}{h_{conv,soporte-aire} + h_{rad,soporte-aire}} \right] \quad (69)$$

Para finalizar este procedimiento se debe encontrar los coeficientes de transferencia calor de convección y radiación se utiliza las ecuaciones 70 y 71.

$$h_{conv,soporte-aire} = 2.8 + 3 \cdot V \quad si \quad V \leq 5 \frac{m}{s} \quad (70)$$

De acuerdo con la ecuación 54 se tiene un valor de $3.07 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$.

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por radiación entre el soporte y el medio, de la ecuación 13 se hace un pequeño cambio y se tiene.

$$h_r = \left[\frac{(\varepsilon_{sopoerte}) \cdot \sigma \cdot (T_{s,sopoerte}^4 - T_{alred}^4)}{T_{s,sopoerte} - T_{alred}} \right] \quad (71)$$

Como ya se había mencionado anteriormente según Srivastava *et al.* [60] se tiene que:

$$T_{alrededores} = \left(0.552 \times T_{aire}^{1.5} \right).$$

2.9 Resultados del modelo matemático

2.9.1 Cálculo del espesor de la cubierta

Para el cálculo del espesor del vidrio se parte de la Figura 14, donde se muestra un esquema con los valores que intervienen en el sistema. Considerando que la temperatura del medio ambiente según la organización climatológica de Quito [61] es 14° C.

La temperatura que puede alcanzar la superficie interna del vidrio en los días más soleados $T_{s1} = 50^\circ\text{C}$ según Tsilingiris [64].

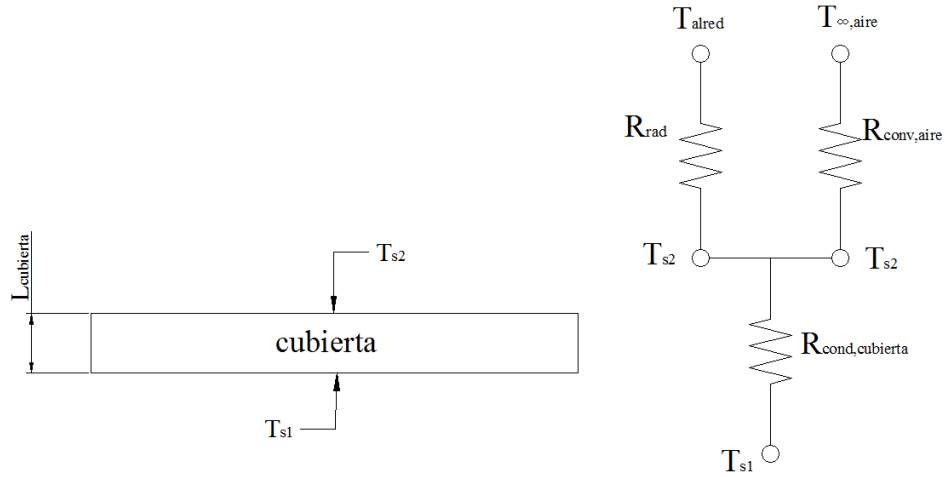


Figura. 14 Resistencias para la cubierta

Del esquema anterior se tiene que

$$q_{cond,c} = q_{conv,c} + q_{rad,c} \quad (72)$$

Mientras que el flujo de calor por conducción para la cubierta es:

$$q_{cond,c} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{R_{cond,c}} \quad (73)$$

Donde:

$R_{cond,c}$: Resistencia de conducción de la cubierta. Observar la ecuación 74.

T_{s1} : Temperatura en el interior de la cubierta.

T_{s2} : Temperatura en el exterior de la cubierta.

$$R_{cond,c} = \frac{L_{cubierta}}{k_{t,c} \cdot A_c} \quad (74)$$

De la ecuación anterior se tiene que $k_{t,c}$ es la conductividad térmica de la cubierta, A_c es el área y $L_{cubierta}$ espesor de la cubierta. Al reemplazar las ecuaciones 73, 9, 10 en la 72 se obtiene:

$$\frac{(T_{s1} - T_{s2})}{\left(\frac{L_{cubierta}}{k_c} \right)} = h_{rad,c-aire} \cdot (T_{s2} - T_{alred}) + h_{conv,c-aire} \cdot (T_{s2} - T_{\infty aire}) \quad (75)$$

Al despejar la temperatura en la superficie exterior de la cubierta se tiene:

$$T_{s2,calcula} = T_{s1} - \left[h_{rad,c} \cdot A_c \cdot (T_{s2,asume} - T_{alred}) + h_{conv,c} \cdot A_c \cdot (T_{s2,asume} - T_{\infty aire}) \right] \cdot \frac{L_{cubierta}}{k_c} \quad (76)$$

Con la ecuación 76 se puede calcular del espesor de la cubierta, donde se asume temperaturas en el exterior de la superficie de la cubierta que puede ir desde la temperatura ambiente hasta la temperatura al interior del destilador 50°C, y además se va iterando los valores del espesor hasta encontrar un error bajo.

Para este proyecto se considera dos materiales para la cubierta y son: Acrílico y Vidrio, se elige estos materiales por bajo costo, alta transmisividad, facilidad de obtención y facilidad de instalación. El acrílico tiene una conductividad térmica de 0.18 (W / mK) según Goodfellow [65] y el vidrio 0.8 (W . m⁻¹K⁻¹) según Karlekar *et al.* [66], valores que son necesarios para determinar el espesor del vidrio y del acrílico.

Tabla 9. Espesores para el Vidrio

Tabla de resultados del Vidrio										
<i>Espeor</i> [$L_c(m)$]	$T_{s2}(^{\circ}C)$ <i>calcula</i>	$T_{s2}(^{\circ}C)$ <i>asume</i>	h_{conv}	h_{rad}	$R_{cond,c}$	R_{rad}	R_{conv}	Ra	Nu	<i>error(%)</i>
0,15	28,5	28	2,41	5,48	1,36	1,33	3,01	883664,17	8,28	1,75
0,065	35,4	35	2,66	5,68	0,59	1,28	2,73	1309902,2	9,13	1,13
0,035	40,1	40	2,8	5,83	0,32	1,25	2,59	1608268,8	9,62	0,25
0,003	48,8	48	2,99	6,07	0,03	1,2	2,43	2075448,1	10,25	1,64
1,00E-06	49,9	50	3,03	6,13	0	1,19	2,4	2190328,2	10,39	0,2

Tabla 10. Espesores para el Acrílico

Tabla de resultados del Acrílico										
$L_c(m)$	$T_{s2}(^{\circ}C)$ <i>calc.</i>	$T_{s2}(^{\circ}C)$ <i>asume</i>	h_{conv}	h_{rad}	$R_{cond,c}$	R_{rad}	R_{conv}	Ra	Nu	<i>error(%)</i>
0,035	28,52	28	2,42	5,19	1,41	1,40	3,01	883664,17	8,28	1,824
0,015	35,55	35	2,67	5,38	0,61	1,35	2,73	1309902,2	9,13	1,539
0,008	40,27	40	2,81	5,52	0,32	1,32	2,59	1608268,8	9,62	0,678
0,001	48,33	48	2,99	5,75	0,04	1,26	2,43	2075448,1	10,25	0,687
1E-06	49,99	50	3,03	5,81	0,00	1,25	2,40	2190328,2	10,39	0,004

Las tablas 9 y 10, muestran 5 iteraciones donde se asumen cinco temperaturas en la superficie exterior de (28, 35, 40, 48, 50 °C), los valores recalculados muestran errores pequeños. Y a fin de determinar el tipo de material que se va a utilizar en el destilador se compara los distintos espesores de las dos tablas y se elige el que tenga alta conductividad térmica y un espesor no tan pequeño, de tal forma que la superficie interna de la cubierta se enfrié con el medio ambiente y pueda condensar con mayor rapidez el vapor generador en el destilador.

La opción optada es el vidrio y el espesor que se elige corresponde a la cuarta iteración, que muestra un espesor de 3 mm (3 líneas), coincidiendo con la recomendación de Çengel *et al.* [38], además se elige este material porque permite tener alta conductividad y el espesor es el adecuado para brindar rigidez.

2.9.2 Cálculo del espesor del aislante.

Para determinar el espesor del refractario se opta por definir una temperatura a la que puede llegar el acero inoxidable en un día muy soleado, al no contar con datos experimentales se toma la temperatura de ebullición del agua a la presión de Quito

siendo 91 °C a una presión atmosférica de 546,44 mm Hg, según Stackhouse [67] . Se toma esta temperatura con el fin de sobre dimensionar el espesor del refractario y tener la menor cantidad de pérdidas posibles con la finalidad de asegurar que se destile la cantidad de agua requerida para este proyecto.



Figura. 15 Resistencias para el refractario

De la Figura anterior se tiene el esquema que es presentado por la ecuación 77 donde se considera que $T_{aire} = T_{alrededores}$

$$\frac{T_{s1,d} - T_{s2,m}}{R_{cond,sopORTE} + R_{cond,aislante} + R_{cond,depósito}} = \frac{T_{s2,m} - T_{alrededores}}{R_{conv,rad}} \quad (77)$$

Al despejar la temperatura en la superficie exterior del material del soporte se tiene.

$$T_{s2,m,calcula} = T_{alrededores} + \left[\frac{1}{h_{rad} + h_{conv}} \cdot \frac{(T_{s1,d} - T_{s2,m,asume})}{\left(\frac{L_{aislante,itera}}{k_r} + \frac{L_m}{k_m} + \frac{L_d}{k_{ac}} \right)} \right] \quad (78)$$

Donde:

$T_{s2,m}$: Temperatura en la superficie exterior de la madera

$T_{s1,d}$: Temperatura en el interior en la superficie interior del depósito

$L_{aislante}$: Espesor del aislante

L_m : Espesor del material del soporte

L_d : Espesor del acero del depósito

k_m : Conductividad del material del soporte

k_r : Conductividad del aislante

k_{ac} : Conductividad del acero del depósito

Para el cálculo del espesor del aislante, se toma el coeficiente de convección para el aire de $3.07 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ ver ecuación 54 y el coeficiente de radiación se calcula con la ecuación 13.

Los materiales por los que se optó para la construcción del destilador son:

Acero Inoxidable: Este material fue determinado porque el fluido de trabajo es agua y es altamente oxidante, la finalidad de utilizar este material es incrementar la vida útil del equipo, ya que al tener una alta conductividad térmica pueda llegar a calentar rápidamente el agua del destilador. Se eligió un espesor de 0.4 mm por facilidad de doblado y conformado, según Goodfellow [68] la conductividad térmica del acero es $16.3 (W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$.

Material del soporte: Para determinar el tipo de material a utilizarse como soporte del aislante y la estructura del equipo, se eligió tres materiales existente en el medio y son: Madera (ver propiedades térmicas y mecánicas [66-69]), acrílico (ver propiedades térmicas y mecánicas [65]) y cartón prensado (ver propiedades térmicas y mecánicas [70-71]) un resumen de las distintas propiedades se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11. Comparación de materiales para la estructura

MATERIALES PARA EL SOPORTE			
Propiedades	Madera	Acrílico	Cartón prensado
Conductividad térmica ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	0,12	0,18	0,14
Resistencia al Impacto ($kg \cdot m^{-2}$)	795	6,52	500
Resistente al fuego	alto	bajo	bajo
Facilidad de moldeo	alto	alto	bajo
Costo	medio	alto	alto

De la tabla anterior se hace un análisis con respecto a las propiedades térmicas de cada material siendo la opción más factible la madera. Además, la facilidad de obtención, bajo costo y sencillez de moldeo fueron factores para seleccionar este material como soporte del aislante, cuyo espesor será de 1 cm para obtener buena rigidez.

Aislante: Para determinar el tipo de aislante que se va a utilizar se optó por tres tipos que son:

- **Lana de vidrio:** Material que posee una baja conductividad térmica de $0.045 (W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$ [72], es ideal para trabajos de baja temperatura, fácil de moldear y bajo costo. Los cálculos para este material se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12. Cálculo con Lana de vidrio

Tabla de resultados del espesor del aislante con Lana de Vidrio			
<i>espesor(m)</i>	$T_{s2m}(^{\circ}C)$ <i>asume</i>	$T_{s2m}(^{\circ}C)$ <i>calc</i>	<i>error(%)</i>
0,00624	40	40,0589	0,1471
0,0197	28	28,05462	0,1947
0,059	20	20,03320	0,1657

- **Manto cerámico** Su temperatura de operación es alta de $500^{\circ}F(260^{\circ}C)$ y con una conductividad térmica de $0.06 (W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$ [73]. En la siguiente tabla se presentan el cálculo con este tipo de material.

Tabla 13. Cálculo con el Manto Cerámico

Tabla de resultados del espesor del aislante con Manto Cerámico			
<i>espesor(m)</i>	$T_{s2m}(^{\circ}C)$ <i>asume</i>	$T_{s2m}(^{\circ}C)$ <i>calc.</i>	<i>error(%)</i>
0,0089	40	40,08571	0,2138
0,0282	28	28,03043	0,1085
0,084	20	20,05257	0,2622

- **Durapax (Poliestireno):** Según Goodfellow [74] la temperatura de trabajo es inferior a 100 y 80 °C dependiendo del tipo de poliestireno, así mismo su conductividad térmica va desde 0.046 a 0.033 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$), en la siguiente tabla se muestra el cálculo para una conductividad térmica de 0.033.

Tabla 14. Cálculo con el Durapax

Tabla de resultados del espesor del aislante con Manto Cerámico			
<i>espesor(m)</i>	$T_{s2m} (^{\circ}C)$ <i>asume</i>	$T_{s2m} (^{\circ}C)$ <i>calcula</i>	<i>error(%)</i>
0,0049	40	40,0686	0,1713
0,0155	28	28,0381	0,1359
0,046	20	20,0774	0,38555

En las Tablas 12, 13 y 14, se pueden observar las iteraciones realizadas para el cálculo de espesores, donde se tiene 3 espesores distintos para los tres tipos de aislantes, en los cálculos la mejor opción es el durapax ya que la conductividad térmica es la menor de los tres aislantes, así como también es más liviano y de menor costo. Sin embargo, opera máximo hasta los 80°C, temperatura a la cual empieza a contraerse, es por eso que para este proyecto se optó por la lana de vidrio, el manto cerámico quedó descartado por su alto costo.

Mediante el análisis de la Tabla 12 se tiene que la primera iteración presenta mucha pérdida de calor y la tercera su espesor es muy grueso. Mientras que la segunda tiene una pérdida media, con un espesor que es adecuado para instalar en el equipo. Para concluir el material que se va a utilizar de aislante es lana de vidrio y tendrá un espesor de 2 cm.

2.10 Desarrollo del modelo 3D del destilador.

2.10.1 Cubierta

La cubierta del destilador tendrá una dimensión de 340 mm de ancho valor que fue obtenido de la suma de los 300 mm del ancho de los depósitos de la cascada como se puede ver en la Figura 10, a su vez se le añade 40 mm para tener una superficie de contacto donde se asentará la cubierta.

El largo total correspondiente a 700 mm fue determinado mediante la suma de 660 mm de longitud que cubrirán todos los depósitos del equipo y 40 mm de área de contacto, como se aprecia en la Figura 11. Además, como se puede apreciar en el numeral 2.9.1 su espesor es de 3 mm y el material es vidrio, como se muestra en la Figura 16.

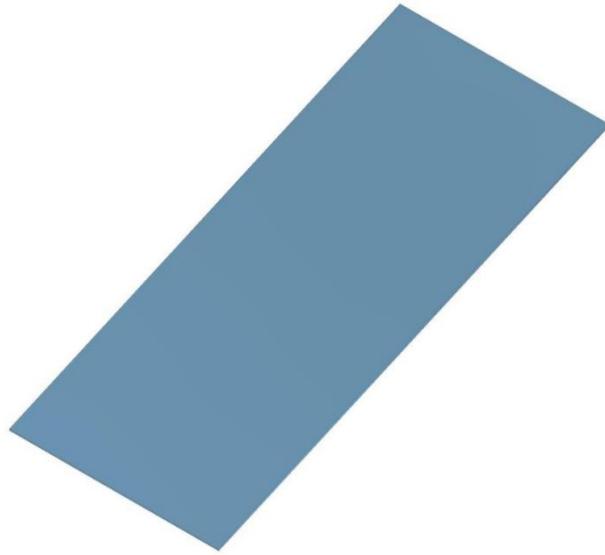


Figura. 16 Cubierta de vidrio

Para el diseño de la placa absorbente que se menciona a continuación, se tomó en cuenta los parámetros de diseño de Tabrizi *et al.* [21], doblando ligeramente los vértices de los depósitos, logrando que el caudal se distribuya de mejor manera a lo largo de los mismos uniformemente.

2.10.2 Placa absorbente.

Las dimensiones se muestran en el plano 10.5261/.5826.10.02 que fue desarrollado mediante la Figura 11.

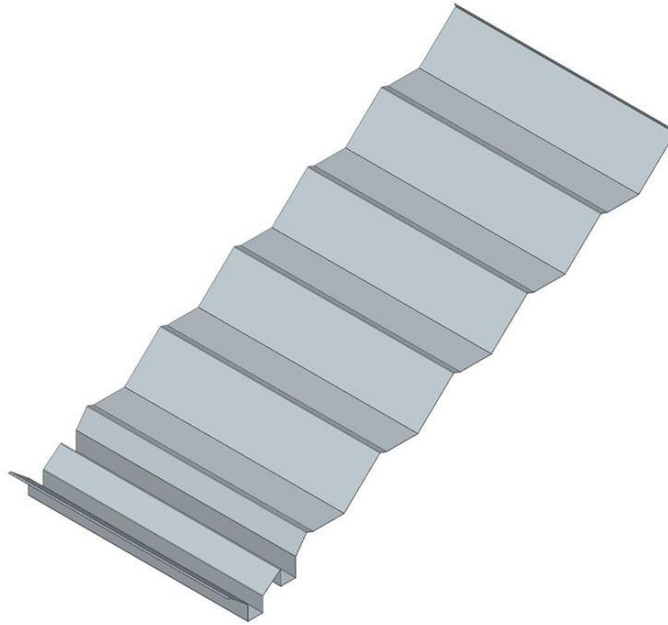


Figura. 17 Placa absorbente

El material perteneciente a la placa absorbente es de acero inoxidable, la tubería por donde se alimentará el agua que será destilada también es del mismo material, su diámetro exterior corresponde a 1/2 pulgada.

La superficie que cubre los depósitos está pintada de negro mate con la finalidad de evitar reflexión por parte del material y tener la mayor absorción posible, lo que favorece a la evaporación del agua en los depósitos.

El espesor es de 0.45 mm siendo una de las dimensiones menores existentes en el mercado según Aceroscenter [75], y que facilitará el proceso de conformado para la formación de la placa como se muestra en la Figura 17.

2.10.3 Aislantes

El material correspondiente al aislante es lana de vidrio ya que por sus propiedades y los cálculos mencionados anteriormente y tiene un espesor de 2 cm, como se observó

en el numeral 2.9.2, para mayor facilidad de instalación, se le da la forma de la placa absorbente, como se aprecia en la Figura 18 de la página siguiente.

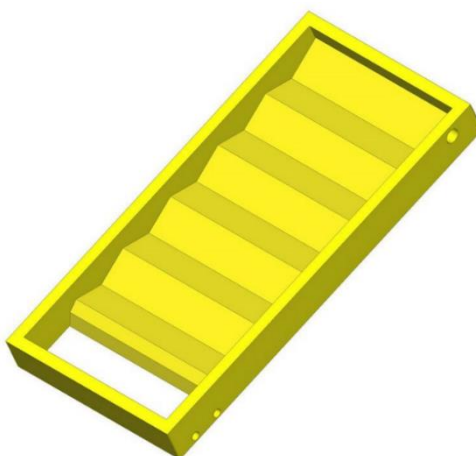


Figura. 18 Aislante

2.10.4 Soporte de madera.

El soporte de madera tiene un espesor de 20 mm, como se pudo apreciar en el numeral 2.9.2, el mismo está configurado para encapsular el aislante, contener los canales de salida de agua destilada y dar soporte del destilador.

En la Figura 19 se puede ver la geometría del soporte, y sus dimensiones se encuentran en el plano 10.5261/5826.10.10



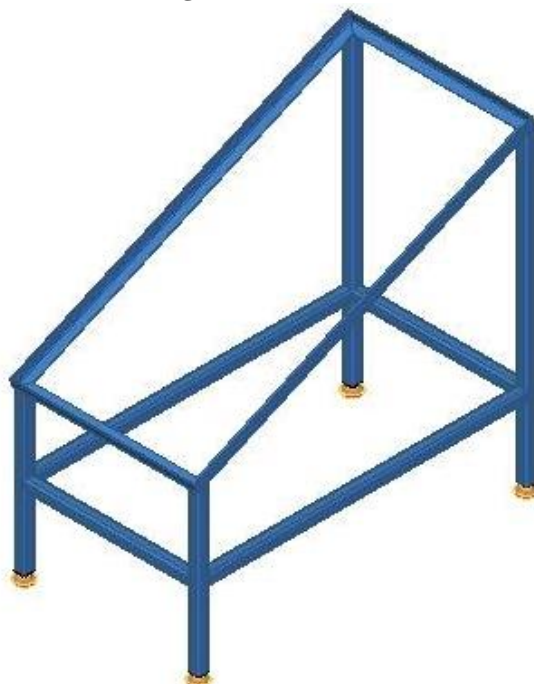
Figura. 19 Soporte de madera

2.10.5 Estructura metálica del destilador

Su configuración fue diseñada para la sujeción del destilador, el mismo está constituido mediante ángulos, tubos cuadrados de (20-20-3 mm).

Las dimensiones se pueden apreciar en el plano 10.5261/5826.09.00 y se muestran en la Figura 20.

Figura. 20 Estructura



2.10.6 Tubería para la alimentación de agua

La tubería correspondiente está constituida mediante elementos de acero inoxidable como se puede observar en la Figura 21, la flauta tiene 12 mm de diámetro interno y las salientes de 8 mm, se optó por esos diámetros debido a la existencia de este tipo de accesorios en el mercado nacional.

Además, la tubería lleva incorporada una válvula de bola que permite regular el flujo. En el plano 105261/5826.02.00 se tiene las dimensiones.

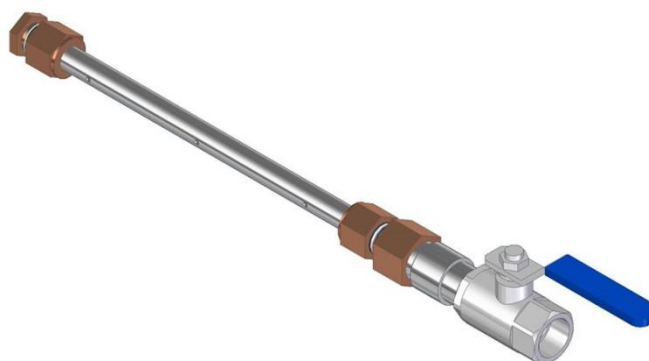


Figura. 21 Tubería de alimentación de agua

2.10.7 Ensamble final del destilador

El diseño completo del destilador se muestra en la Figura. 22



Figura. 22 Destilador tipo cascada

Para su ensamblaje se dispuso de sujetadores, procesos de soldaduras y acoplamientos fijos. En el en plano 10.5261/5826.00.00 se muestran todos los dispositivos que conlleva el conjunto completo.

Además, en el Anexo G Tabla G: 1 se puede observar las dimensiones totales del prototipo, como también en la Tabla G: 2 se muestran los parámetros medibles.

Conclusiones del capítulo

Los cálculos desarrollados durante el presente capítulo, fueron basados en el modelo matemático de Dunkle 1961, como se menciona en Elango *et al.* [40], cuyas fórmulas son las más actuales según los artículos científicos consultados, además de ser concisas en su estructura e introducir valores de ciertas constantes que facilitan la comprensión y resolución de los cálculos necesarios.

Para el balance de energía se analizan todos los flujos de calor que se dan entre los depósitos de agua y la cubierta, como lo es el calor absorbido que se presenta en forma de radiación, el cual calienta la superficie de la cubierta, del mismo modo se consideró el calor reflejado, pero este al desviarse en otra dirección no interviene en el destilador, así mismo se determinó que la radiación transferida mediante el calor absorbido llega al metal de los depósitos y de esta manera hace que su temperatura aumente, interviniendo la transferencia de calor mediante conducción y convección logrando que la temperatura del agua se eleve hasta evaporarse, recreando los fenómenos de evaporación y condensación del agua, que por medio de la cubierta inclinada permite la circulación del destilado, y con la ayuda de la gravedad esta llega a almacenarse en los depósitos elaborados para este fin.

Para el cálculo del espesor del refractario, se realizó una serie de iteraciones con distintos materiales, donde el más apto fue el vidrio con un espesor de 3 mm, coincidiendo así con Çengel *et al.* [38].

CAPÍTULO III

En este capítulo se va a desarrollar el proceso de construcción del equipo, pruebas realizadas en el destilador y también se desglosará el costo de fabricación.

3.1 Proceso de construcción

Fue llevado a cabo en el taller mecánico Industrial KIV, microempresa ubicada en el barrio Alma Lojana, lugar donde se pudo acceder a la operación de los equipos necesarios, bajo supervisión y normas de seguridad.

3.1.1 Cortado

Los ángulos y tubos cuadrados de la estructura del destilador fueron cortados con amoladora, mientras que el corte en la plancha de tool se realizó mediante tijeras de tool tal como se puede observar en la Figura 23.



Figura. 23 Cortado manual de la plancha de tool

Los cortes complejos para la formación de las chapas metálicas de las tapas laterales del destilador fueron realizados mediante una cortadora CNC

3.1.2 Doblado

El proceso de doblado para la placa absorbente donde se encuentran los depósitos fueron desarrollados en el taller “VALLEJO VARGAS”, en una dobladora CNC, por sus dobleces complejos.

Mientras que los dobleces para las placas laterales fueron realizados en una dobladora manual en la micro empresa TESPA.



Figura. 24 doblado de las placas laterales

3.1.3 Torneado

Para el desarrollo de acoples en acero inoxidable, empleados en la tubería de entrada de agua y recolección, fue necesario fabricar acoples de acuerdo con las medidas establecidas en planos ya que no se encontró en el mercado nacional, siendo necesario la realización del proceso de construcción a través de un torno manual, tal como se puede ver en la siguiente figura:



Figura. 25: Torneado de los acoples de entrada y recolección de agua

3.1.4 Soldadura

El proceso de soldadura utilizado para el armado de la estructura que soportará el destilador es SMAW, con electrodo revestido (E7018). Mientras que, para la unión de placas de bajo espesor como es el caso de la placa absorbente y las placas laterales se utilizó el proceso TIG con electrodo del tipo (ER 316L), como se puede ver en la siguiente figura. Además, en el Anexo C se especifican los WPS para los procesos de soldadura utilizados.



Figura. 26: Proceso de soldadura TIG

3.1.5 Sellado de los laterales

Para evitar la existencia de fugas en los lados laterales por donde se realizó un proceso de soldadura se ubicó silicón de alta temperatura, tal como se muestra en la siguiente figura:



Figura. 27: Sellado de los bordes laterales.

3.1.6 Colocación de aislante

Se utilizó silicón de alta temperatura para adherir la lana de vidrio a la estructura metálica del acero inoxidable del destilador, facilitando el pegado en la superficie, mediante la siguiente figura se muestra la ubicación del aislante:



Figura. 28: Ubicación del aislante (lana de vidrio)

3.1.7 Pintado

Para este proceso se utilizó un soplete de aire - compresor y pintura color negro mate, para pintar la placa absorbente y la estructura que sostiene el equipo, en la siguiente figura se muestra como fue pintado el equipo:



Figura. 29: Proceso de pintado

3.1.8 Ubicación de la tubería de entrada de agua

La tubería es de acero oxidable, fue ubicada en la parte superior del destilador, se une mediante acoples y con teflón para evitar fugas, tal como se muestra en la siguiente figura:



Figura. 30: Ubicación de la tubería de entrada de agua

3.1.9 Colocación de la cubierta

Para la ubicación de la cubierta, se utilizó un empaque de caucho que fue unido con silicón en la base, sobre este empaque se localiza la cubierta, que es presionada con un marco fabricado de perfil angular y que va unido a la estructura mediante pernos, tuercas y arandelas. La presión que ejerce el marco sobre el vidrio genera un sellamiento casi hermético y se evita fugas. En la siguiente figura se muestra la ubicación de la cubierta:



Figura. 31: Ubicación de la cubierta.

3.2. Pruebas realizadas

Para corroborar el estado en el que se encuentra el destilador, se realizaron distintas pruebas, donde se establecen varias actividades con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento del equipo y de los accesorios que contiene. A continuación, se expone los pasos a seguir para el desarrollo del protocolo.

3.2.1 Inspección de los elementos del destilador

Mediante una inspección visual se determina la correcta ubicación de los accesorios, así como también de los elementos de medición.

A continuación, se muestra la tabla de la inspección realizada:

Tabla 15. Inspección de los accesorios y elementos del equipo

PRUEBAS REALIZADAS		
DESTILADOR SOLAR TIPO CASCADA		
Supervisor: Ruiz Lizeth	Universidad: UPS	
Fecha: 10/May/2017	No de hoja: 1	
INSPECCIÓN DE ACOPLEROS Y ACCESORIOS DE EQUIPO		
Elementos	Se aprueba	no se aprueba
• Buena sujeción de la tubería de entrada de agua	X	
• Montaje de termocuplas	X	
• Correcta instalación de las válvulas de entrada y salida de agua	X	
• Correcta instalación de los acopleros de entrada y salida de agua	X	

3.2.2 Inspección de fugas

Con la ayuda de algunas herramientas y mediante inspección visual se realizó las pruebas de existencia de fugas.

A continuación, se enumera las actividades desarrolladas.

- Con herramientas adecuadas se verificó un ajuste adecuado en los accesorios.
- Se inspeccionó una adecuada instalación de la cubierta.
- Se comprobó la correcta ubicación de teflón en los accesorios.
- Llenado de agua en el destilador a su carga máxima, e inspección de fugas.

En la siguiente tabla se muestra la hoja de inspección.

Tabla 16. Inspección de la existencia de fugas

PRUEBAS REALIZADAS		
DESTILADOR SOLAR TIPO CASCADA		
Supervisor: Luna Jonathan	Universidad:	UPS
Fecha:10/May/2017	No de hoja:	2
INSPECCIÓN DE LA EXISTENCIA DE FUGAS		
Elementos	se aprueba	no se aprueba
• Correcto aislamiento de la cubierta	X	
• Sellado de los laterales del equipo	X	
• Buen sellado de los accesorio y acoples	X	

3.2.3 Inspección con carga máxima del equipo y en operación

Esta prueba se desarrolló con carga máxima, se expuso el equipo al sol, y se verificó el funcionamiento mediante la observación del deslizamiento de las gotas de agua hacia el depósito de recolección. En la siguiente tabla se muestran los resultados de la inspección

Tabla 17. Inspección del funcionamiento

PRUEBAS REALIZADAS		
DESTILADOR SOLAR TIPO CASCADA		
Supervisor: Ruiz Lizeth	Universidad: UPS	
Fecha: 10/May/2017	No de hoja: 3	
INSPECCIÓN DE FUNCIONAMIENTO		
Elementos	se aprueba	no se aprueba
• Correcto ángulo de inclinación de la cubierta	X	
• comodidad en la recolección de agua	X	
• Alimentación uniforme de los depósitos	X	
• Facilidad en la toma de datos	X	

3.2.4 Funcionamiento y toma de datos

Para la toma de datos se utilizó los siguientes instrumentos de medición:

- Medidor de temperatura (multímetros digitales ver Anexo H)
- Termocuplas tipo k sin recubrimiento, ver (Anexo I)
- Termómetro.

En la siguiente tabla se muestran los datos tomados el 18 de mayo de 2017, los valores fueron tomados cada 5 minutos, y las variables medidas fueron:

- Cantidad de agua recolectada $Q_{e,agua}$
- Temperatura de la cubierta T_c
- Temperatura la placa absorbente depósitos T_d
- Temperatura del agua T_a
- Recolección de agua R_{agua}
- Observaciones acerca del estado del clima

En el Anexo B se muestran los datos de valores tomados para distintos días.

Tabla 18. Datos tomados en el equipo del 18 de mayo

N°	$Hora$	T_c °C	T_d °C	T_a °C	$T_{e,agua}$ °C	$Q_{e,agua}$ ml	$Observaciones$
1	8:50	20	30	20	16	0	Totalmente nublado con viento
3	9:00	20	35	30			Leve llovizna
5	9:10	21	39	36			Nublado
7	9:20	21	41	38			Llovizna
9	9:30	25	47	44			Levemente nublado
11	9:40	28	50	43			Levemente nublado
13	9:50	27	48	44			Leve llovizna
15	10:00	29	48	45			Levemente nublado
17	10:10	25	46	43		20	Nublado, Rec. de Agua
19	10:20	25	47	43			Levemente nublado
21	10:30	27	50	46			Levemente nublado
23	10:40	28	47	45			Levemente nublado
25	10:50	27	48	45			Levemente nublado
27	11:00	29	54	48			Levemente nublado
29	11:10	32	56	53			Se empieza a despejar
31	11:20	30	55	51			Se empieza a despejar
33	11:30	30	58	53			Se empieza a despejar
35	11:40	30	58	51			Nublado
37	11:50	35	62	56			Levemente nublado
39	12:00	46	87	75			Soleado
41	12:10	51	101	80			Soleado
43	12:20	50	98	81			Soleado
45	12:30	50	90	76			Soleado
47	12:40	51	94	77			Soleado
49	12:50	48	90	76			Soleado
51	13:00	40	73	66			Soleado
53	13:10	42	69	66			Soleado
55	13:20	36	59	57			Nublado con viento

57	13:30	35	57	60		Nublado con viento
59	13:40	42	74	68		Leve sol
61	13:50	37	72	64	170	Rec. de agua, cambio de orientación
63	14:00	31	53	50		Nublado con viento
65	14:10	40	88	71		Fuerte sol
67	14:20	43	93	73		Fuerte sol
69	14:30	47	100	78	235	Viento, Rec. de agua
71	14:40	50	87	71		Soleado
73	14:50	51	93	75		Soleado
75	15:00	51	97	80		Soleado
77	15:10	49	98	78		Levemente soleado
79	15:20	46	98	80		Levemente soleado
81	15:30	47	80	79		Levemente soleado
82	15:35	40	82	81	335	Levemente soleado, Rec. total de agua

Tabla 19: Cálculos de distintas variables para el equipo del 18 de mayo

DATOS CALCULADOS										DATOS DE LABORATORIO				
N	P_a	P_c	h_{fg}	$h_{conv-a-e}$	$h_{conv-aire}$	m_e	q_e	$q_{conv-a-e}$	$q_{conv-aire}$	$q_{rad,a-e}$	$q_{rad,c-aire}$	G (W / m^2)	V_{viento} (m/s)	$T_{Ambiente}$ (°C)
1	3150,31	2346,51	2441945	1,60	8,61	0,0000086	20,93	7,99	9,21	27,75	36,11	181,01	2,11	12,93
3	5517,62	2346,51	2418055	2,35	6,84	0,0000502	121,30	35,20	9,30	87,58	37,54	234,97	1,52	12,64
5	5824,05	2490,90	2415666	2,36	5,64	0,0000530	127,97	35,33	12,01	88,46	41,73	282,32	1,12	12,87
7	6482,15	2490,90	2410888	2,47	6,48	0,0000666	160,49	41,94	10,63	101,27	39,31	339,39	1,4	13,36
9	8865,04	3150,31	2396554	2,62	3,39	0,0001017	243,84	49,74	16,10	118,91	56,74	371,04	0,37	14,25
11	8421,30	3741,71	2398943	2,43	3,42	0,0000771	185,07	36,39	23,77	94,76	69,70	323,19	0,38	15,05
13	8865,04	3534,52	2396554	2,53	4,35	0,0000918	220,00	43,04	29,32	107,41	67,94	275,4	0,69	14,26
15	9329,15	3959,56	2394165	2,50	3,99	0,0000913	218,68	39,98	36,19	102,57	81,07	261,98	0,57	13,93
17	8421,30	3150,31	2398943	2,56	5,22	0,0000918	220,27	46,15	25,84	112,09	57,73	240,72	0,98	14,05
19	8421,30	3150,31	2398943	2,56	5,58	0,0000918	220,27	46,15	27,34	112,09	57,48	345,49	1,1	14,1
21	9814,42	3534,52	2391776	2,64	4,05	0,0001131	270,56	50,22	25,07	121,24	65,19	309,67	0,59	14,81
23	9329,15	3741,71	2394165	2,54	6,57	0,0000968	231,73	43,25	47,44	108,46	71,06	279,01	1,43	14,78
25	9329,15	3534,52	2394165	2,59	5,82	0,0001021	244,47	46,59	34,40	114,30	63,78	379,88	1,18	15,09
27	10851,71	3959,56	2386998	2,67	7,08	0,0001257	300,03	50,74	58,62	123,61	77,13	467,47	1,6	14,72
29	13875,21	4681,75	2375053	2,83	4,89	0,0001785	423,84	59,40	51,49	141,98	91,01	377,18	0,87	15,47
31	12587,47	4188,52	2379831	2,80	8,91	0,0001608	382,68	58,70	81,62	139,30	82,35	366,9	2,21	14,84
33	13875,21	4188,52	2375053	2,90	7,11	0,0001929	458,22	66,75	66,19	154,06	83,11	556,16	1,61	14,69
35	12587,47	4188,52	2379831	2,80	9,27	0,0001608	382,68	58,70	77,68	139,30	78,42	715,86	2,33	15,62
37	16022,38	5517,62	2367886	2,88	4,89	0,0002084	493,55	60,53	60,68	146,06	103,51	617,28	0,87	16,59
39	37623,75	9814,42	2322495	3,66	3,75	0,0007139	1658,06	106,08	83,21	231,75	168,61	857,39	0,49	17,81
41	46386,42	12587,47	2310550	3,85	4,65	0,0009180	2121,15	111,65	128,01	242,32	205,36	1120,54	0,79	17,47
43	48335,74	11983,71	2308161	3,95	3,69	0,0010145	2341,66	122,51	94,69	259,10	193,72	1165,95	0,47	18,34
45	39251,50	11983,71	2320106	3,60	7,56	0,0006893	1599,29	93,55	180,68	212,40	184,47	893,74	1,76	20,1
47	40939,77	12587,47	2317717	3,64	8,01	0,0007248	1679,92	94,51	208,58	214,30	197,61	1250,86	1,91	18,96
49	39251,50	10851,71	2320106	3,66	7,77	0,0007309	1695,77	102,57	172,03	226,76	171,68	909,26	1,83	19,86
51	25411,54	7204,75	2343996	3,29	6,72	0,0004160	975,10	85,43	94,95	194,02	117,96	737,55	1,48	19,87
53	25411,54	7997,16	2343996	3,22	6,36	0,0003897	913,48	77,24	99,98	180,70	128,83	823,72	1,36	20,28
55	16799,78	5824,05	2365497	2,90	5,91	0,0002195	519,13	60,94	58,63	147,44	91,52	990,27	1,21	20,08
57	19332,69	5517,62	2358330	3,11	7,26	0,0002967	699,74	77,68	65,27	177,26	85,70	853,44	1,66	20,01
59	27776,79	7997,16	2339218	3,34	9,42	0,0004604	1077,08	86,86	137,53	197,60	122,84	942,57	2,38	21,4
61	23223,15	6145,35	2348774	3,27	8,55	0,0003871	909,12	88,18	90,63	196,91	96,06	911,4	2,09	20,4
63	11983,71	4429,08	2382220	2,70	8,16	0,0001396	332,50	51,30	32,23	126,00	56,03	836,02	1,96	21,05
65	31682,24	7204,75	2332051	3,58	10,17	0,0006127	1428,91	111,02	135,87	236,84	113,87	834,32	2,63	20,64
67	34542,58	8421,30	2327273	3,62	11,25	0,0006619	1540,52	108,54	181,35	234,43	132,24	821,39	2,99	20,88
69	42690,40	10321,66	2315328	3,83	9,69	0,0008724	2019,90	118,68	192,54	252,28	157,99	804,27	2,47	21,13
71	31682,24	11983,71	2332051	3,25	10,32	0,0004471	1042,64	68,19	239,01	167,67	180,53	817,7	2,68	20,84
73	37623,75	12587,47	2322495	3,49	13,44	0,0006137	1425,30	83,82	318,93	196,02	185,36	775,44	3,72	21,27
75	46386,42	12587,47	2310550	3,85	13,68	0,0009180	2121,15	111,65	336,80	242,32	190,11	367,4	3,8	20,38
77	42690,40	11405,43	2315328	3,77	7,32	0,0008303	1922,31	109,32	169,09	238,06	178,47	339,85	1,68	19,9
79	46386,42	9814,42	2310550	3,99	10,95	0,0010297	2379,11	135,69	212,10	278,05	153,80	772,53	2,89	20,63
81	44505,30	10321,66	2312939	3,90	17,10	0,0009386	2170,97	124,68	355,34	261,62	162,84	780,19	4,94	20,22

3.3. Resultados de las pruebas

La tabla 19 muestra los resultados obtenidos a través de cálculos realizados mediante el uso de algunas ecuaciones mencionadas en el capítulo 2, también se tiene valores generados por medio del laboratorio de “Energías Alternativas de la EPN” como son: radiación, velocidad del viento y temperatura ambiente. Estos valores son desarrollados en base a los datos obtenidos de la tabla 18 que pertenecen a la fecha del 18 de mayo de 2017

3.3.1 Análisis de resultados

En la tabla 18 se detallan algunas observaciones del clima, donde se puede ver que se inició la toma de datos, con el clima totalmente nublado y con viento, la temperatura del agua, al ingreso del destilador es de 16°C, pero al empezar a tomar datos el agua en los depósitos subió a 20°C.

Conforme avanza el tiempo la temperatura empieza a elevarse y el clima empieza a despejarse, la cantidad de agua destilada que se recolecta desde las 8:50 am hasta las 10:10 am es de 20 ml, durante esta etapa el fluido se encuentra entre los 30°C y 40°C, la cubierta no supera los 30 grados y la placa absorbente están entre los 40°C y 50°C.

En los períodos donde se despeja totalmente y el sol es muy fuerte, se llega a tener temperaturas superiores a los 70°C en el agua, mientras que la placa absorbente supera los 85°C y la cubierta de vidrio está en un rango 40°C a 50°C. Así como también, se obtiene una mayor recolección de agua destilada hasta una capacidad de 60 ml en 20 minutos de extremo sol, además en el Anexo F se puede ver imágenes termo-gráficas, tomadas a distintas horas que corroboran la información aquí presentada.

Los valores encontrados mediante cálculos en la tabla 19 indican que el flujo de calor por evaporación es superior a los flujos de calor por convección y radiación.

Así mismo, el flujo de masa de agua, de los depósitos hacia la cubierta es superior en los instantes donde existe mayor cantidad de radiación y altas velocidades del viento pues al entrar en contacto con la superficie externa de la cubierta hace que la temperatura del vidrio descienda y provoque una condensación más rápida del agua, a comparación con los períodos donde no existe mucho flujo de aire ni de fuerte sol, los mismos que provocan una condensación más lenta del agua evitando que se caliente la superficie externa de la cubierta

3.4 Gráficas

3.4.1 Figuras de la radiación y temperatura del agua en función del tiempo

A continuación se muestran las Figuras para los días que se realizó la toma de datos en el destilador, desde el 16 hasta 21 de mayo del presente año. Los valores con los cuales fueron desarrollados estas gráficas se encuentran el Anexo D, además, para la fecha del 18 de mayo los valores se encuentran desarrollados en las Tablas 18 y 19.

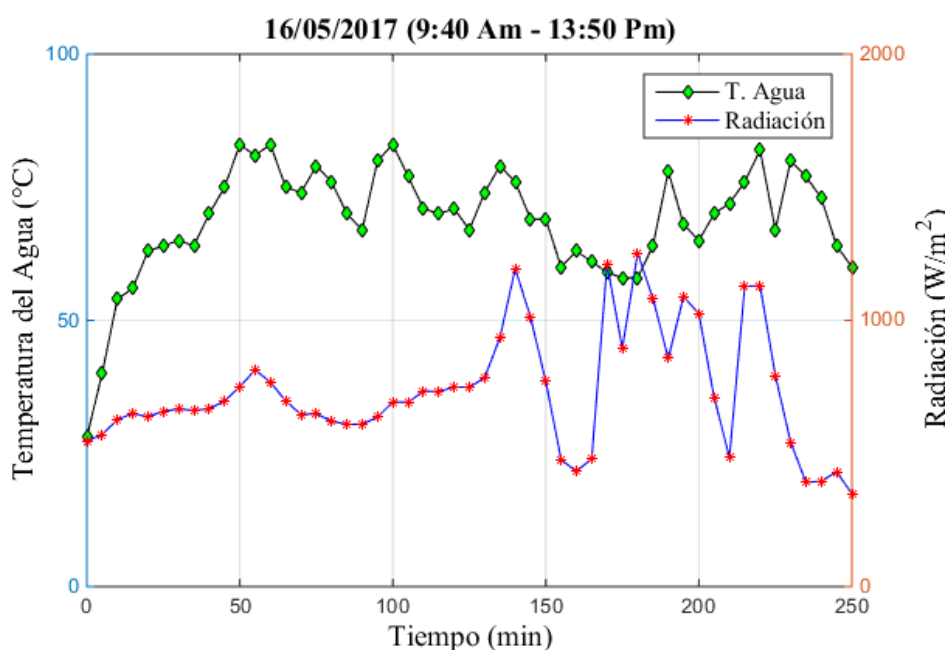


Figura. 32: Temperatura vs Tiempo y Radiación (16-05-2017)

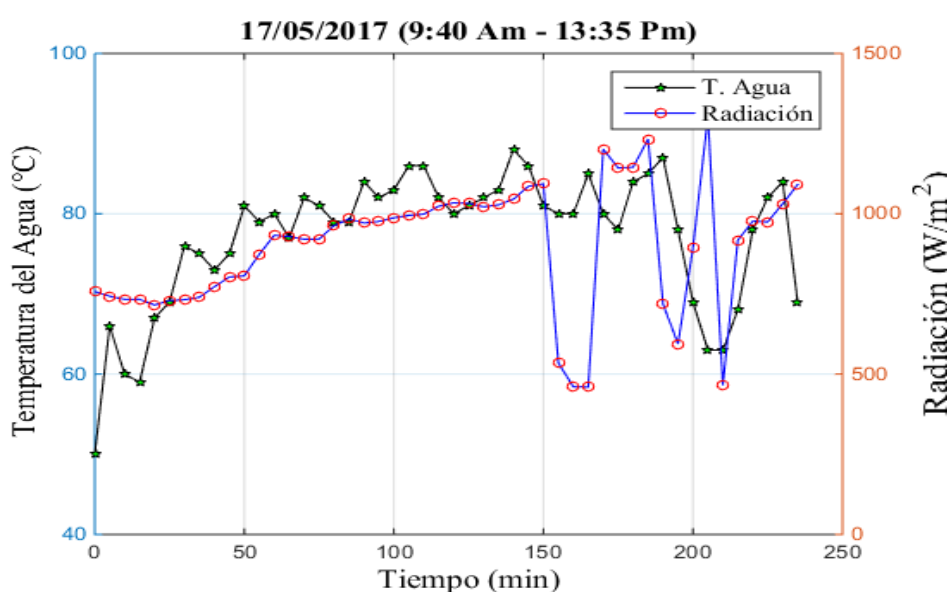


Figura. 33: Temperatura vs Tiempo y Radiación (17-05-2017)

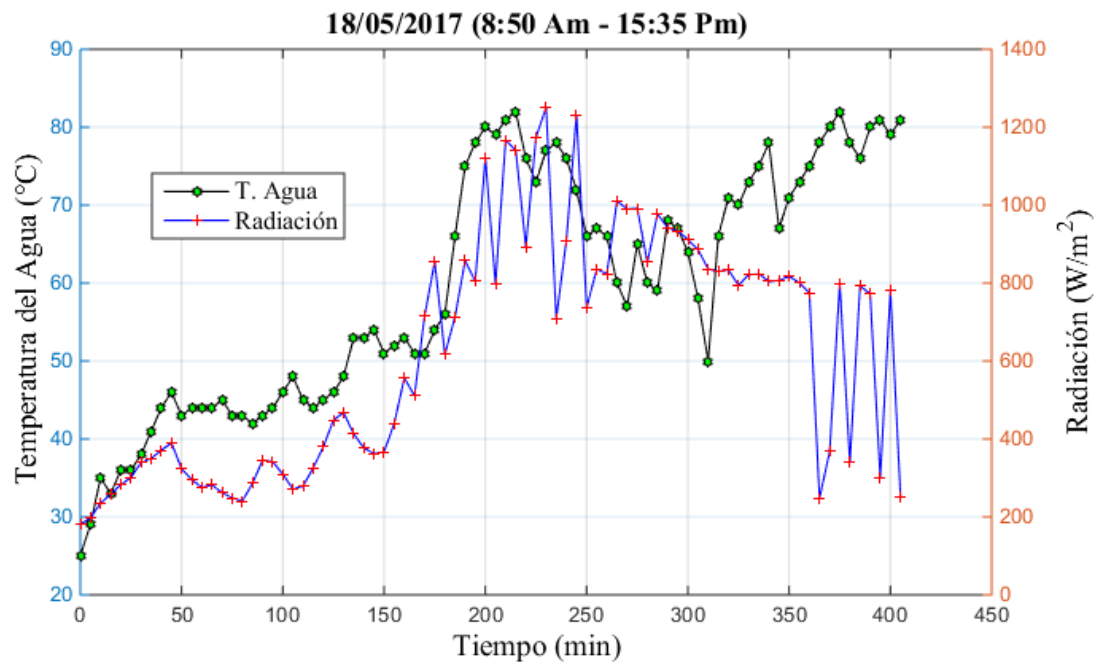


Figura. 34: Temperatura vs Tiempo y Radiación (18-05-2017)

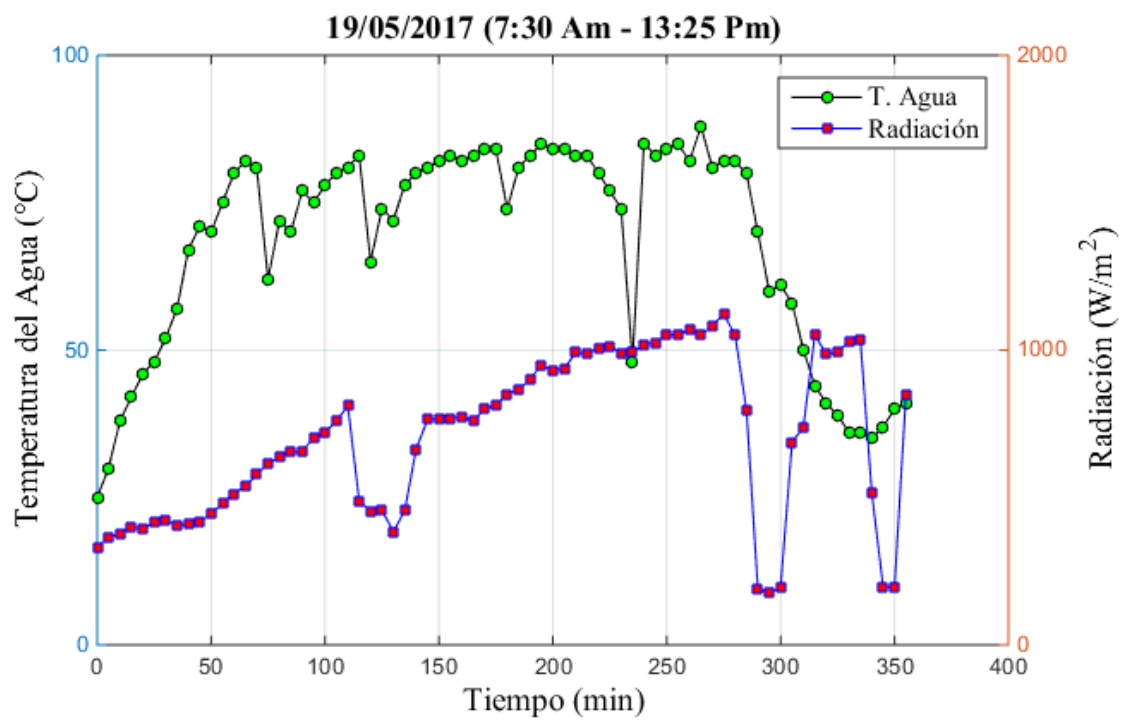


Figura. 35: Temperatura vs Tiempo y Radiación (19-05-2017)

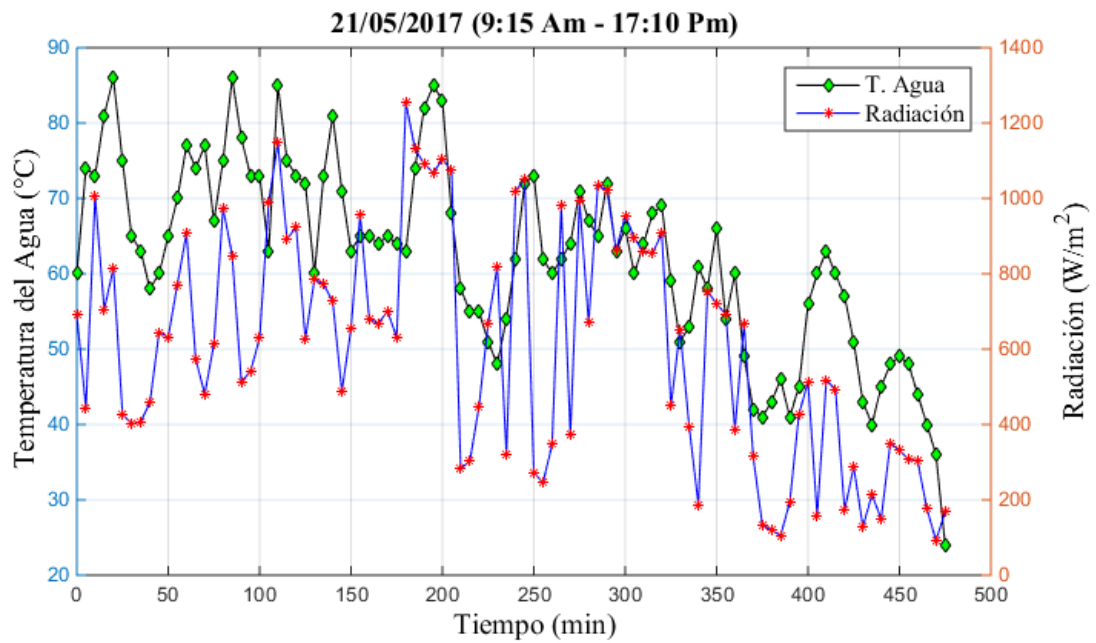


Figura. 36: Temperatura vs Tiempo y Radiación (21-05-2017)

3.4.2 Tiempo vs Volumen de agua y Radiación (18-05-2017)

La Figura que se muestra a continuación indica una comparación entre el volumen de agua recolectado y la radiación.

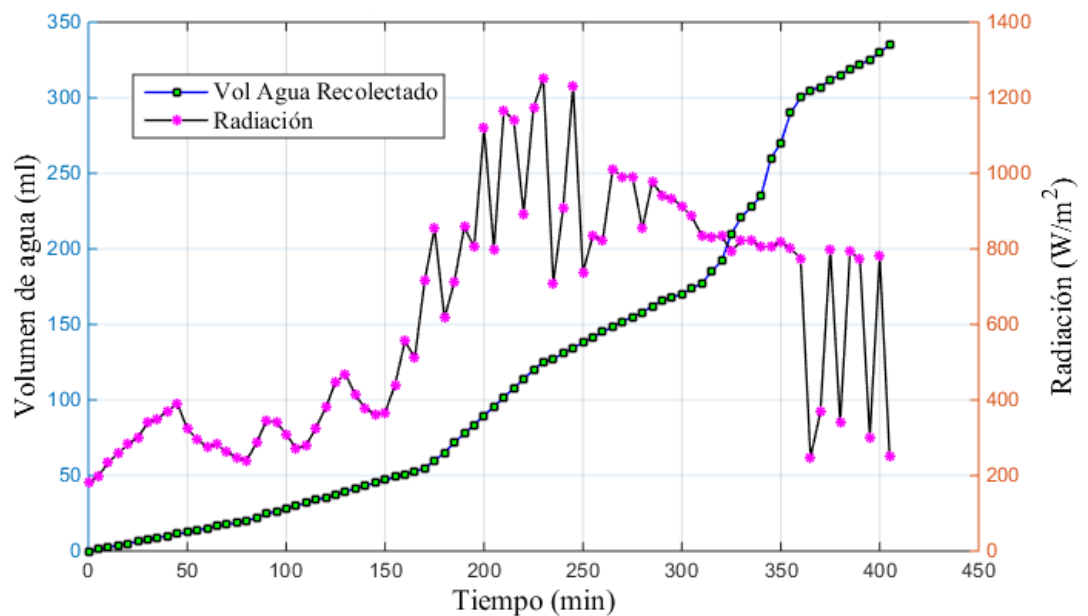


Figura. 37: Tiempo vs Volumen de agua y Radiación (18-05-2017)

3.4.3 Temperaturas vs Tiempo (18-05-2017)

En la siguiente Figura se muestra una comparación entre las temperaturas del agua que se encuentran en los depósitos, la placa absorbente, la cubierta de vidrio y la temperatura del ambiente.

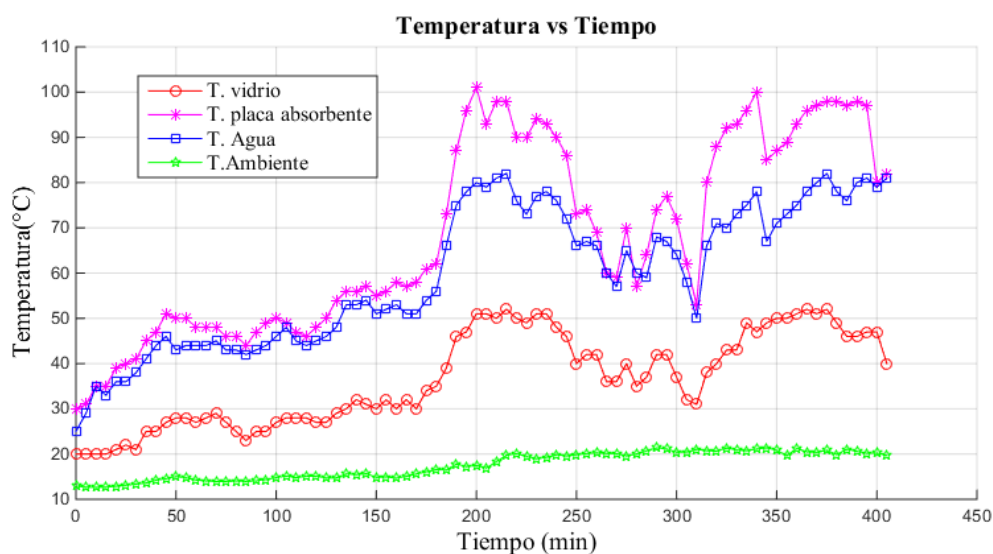


Figura. 38: Temperatura vs Tiempo (18-05-2017)

3.4.4 Flujos de calor (18-05-2017)

En la siguiente figura se puede ver claramente la comparación entre los distintos flujos de calor existentes en todo el destilador que se generan en el interior y exterior del equipo.

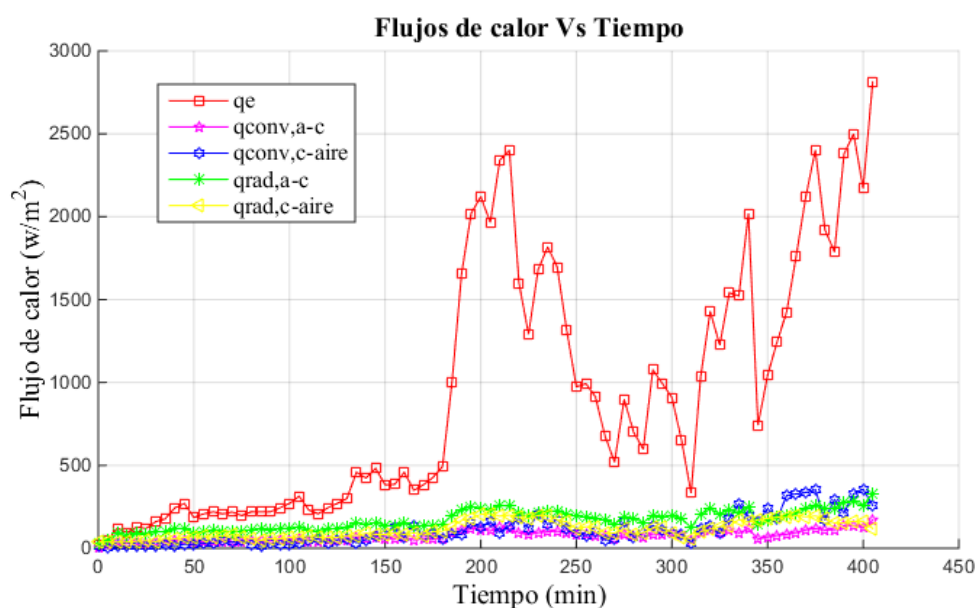


Figura. 39: Flujos de calor vs Tiempo (18-05-2017)

3.4.5 Temperatura del vidrio vs Velocidad del viento (18-05-2017)

Para comprobar el fenómeno mencionado en la literal 3.3.1 se desarrolla la siguiente Figura donde se compara la temperatura de la superficie de la cubierta de vidrio y la velocidad del viento, corroborando que a mayor velocidad del viento menor temperatura en la superficie de la cubierta y viceversa.

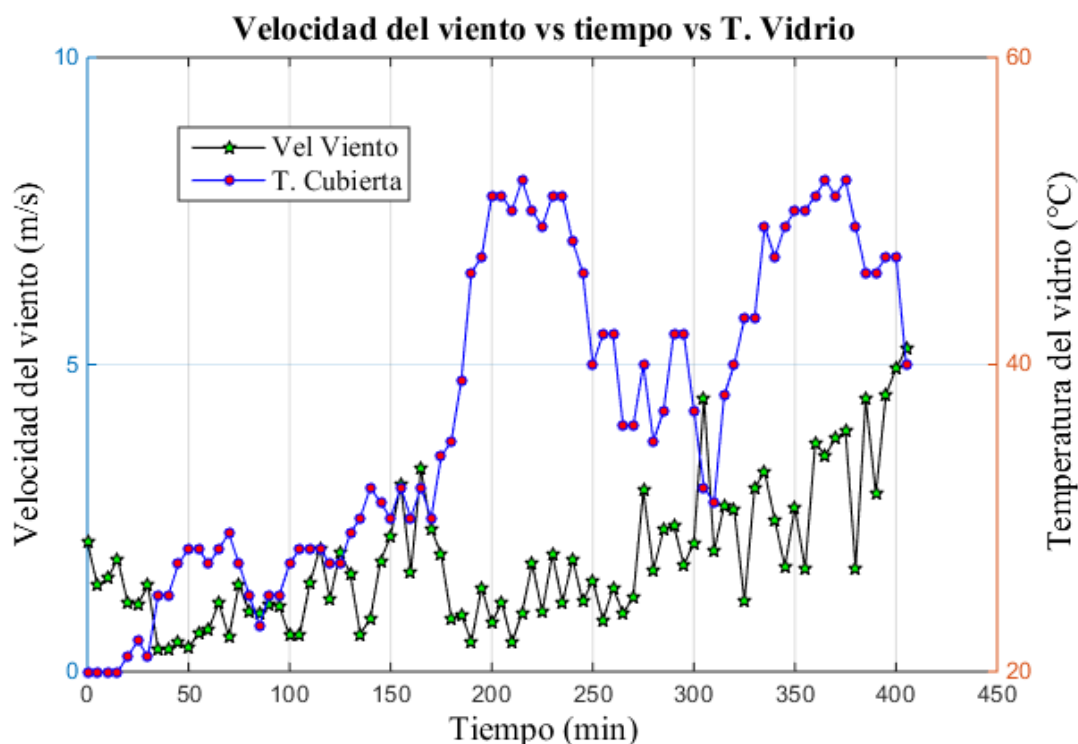


Figura. 40: Temperatura de la cubierta vs Tiempo vs Velocidad del viento (18-05-2017)

3.4.6 Análisis de resultados

Las Figuras desde la 32 hasta la 36 indican una comparación entre la temperatura del agua y la radiación solar donde se pudo ver que las curvas de temperatura y radiación tienen tendencias similares, comprobando así que la temperatura se eleva de acuerdo a la cantidad de radiación existente.

La Figura 36 correspondiente al 21 de mayo muestra fluctuaciones muy variadas donde la radiación supera los 1000 W/m^2 y la temperatura del agua está por encima de los 80 grados. Además, se tiene radiaciones bajo los 200 W/m^2 y temperaturas inferiores a los 40°C , el período de toma de datos en esta fecha es más extenso casi 8 horas y la recolección de agua supera los 2000 ml.

La Figura 37 corresponde al 18 de mayo, donde se puede observar que la tendencia de la pendiente de la curva del volumen de recolección de agua es mayor cuando la radiación aumenta, del mismo modo cuando baja la radiación dentro de un período pequeño la pendiente se conserva alta, pero si el tiempo de radiación baja es prolongada, la pendiente desciende, demostrando lo anteriormente mencionado que a mayor radiación mayor cantidad de recolección de agua destilada.

En la Figura 38 se puede observar todas las temperaturas posibles de medir en el destilador y del medio ambiente. La característica que presenta esta grafica es que se puede apreciar los distintos rangos que pueden alcanzar, por ejemplo: la placa absorbente llega a superar los 100°C debido a las propiedades del material, que en este caso es un metal y aparte está pintado de color negro, logrando mayor absorción de calor por parte del metal.

El agua llega a superar los 80°C, debido a que recibe gran cantidad de energía por medio de la placa absorbente, formada por los depósitos donde se alberga el agua. La cubierta llega a alcanzar 50°C como valor máximo obtenido por la energía que recibe, tanto de la radiación como del vapor de agua que se genera en el interior del destilador.

Para finalizar se tiene la Figura 39, donde se compara los flujos de calor que tiene el destilador notando que la cantidad de evaporación supera a los demás por un rango muy alto, esto se debe a que la energía de transporte de agua de los depósitos a la cubierta es alta, por las variaciones de temperatura que hay entre la placa absorbente y la cubierta.

3.4.7 Análisis del Tipo de agua obtenido

Mediante un informe generado por el Laboratorio de Química Ambiental de la Universidad Central del Ecuador (Ver Anexo E). Se encontró la composición presentada en un litro de agua destilada, producida por el destilador tipo cascada desarrollado en este proyecto. Los valores se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 20. Resultados del agua destilada

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
Cloruros	$m \cdot g / l$	<5
Conductividad	$\mu \cdot s / cm$	66,8(20,4°C)
Potencial de hidrógeno	-	6,4
Sodio	$m \cdot g / l$	4,16

Una comparación con la Tabla 3 (ver numeral 1.6) donde se tiene las características normalizadas de los tipos de agua según la norma ASTM, y por la similitud en la cantidad de sodio y cloruros, el tipo al que se asemeja el agua destilada obtenida en este proyecto es de agua tipo II.

Conclusiones del capítulo

Al realizar las pruebas del destilador durante períodos donde el sol es muy fuerte, y no existe nube alguna en el cielo, se llega a tener temperaturas superiores a los 70°C en el agua, debido a que recibe gran cantidad de energía por medio de la placa absorbente, formada por los depósitos donde se alberga el fluido, mientras que la placa absorbente supera los 85°C debido a las propiedades del material, que en este caso es un metal y aparte está pintado de color negro, logrando mayor absorción de calor por parte del mismo, finalmente la cubierta de vidrio está en un rango 40°C a 50°C por la energía que recibe, tanto de la radiación como del vapor de agua que se genera en el interior del destilador, es así que en este tipo de condiciones se obtiene una mayor recolección de agua destilada hasta una capacidad de 60 ml en 20 minutos de extremo sol. Mediante la figura 37 se corrobora esta información ya que la tendencia de la pendiente de la curva del volumen de recolección de agua es mayor cuando la radiación aumenta, del mismo modo, cuando baja la radiación dentro de un período pequeño la pendiente se conserva alta, pero si el tiempo de radiación baja es prolongada, la pendiente descende, demostrando que a mayor radiación mayor cantidad de recolección de agua destilada.

CAPITULO IV

4.1 Costos de inversión para la construcción del prototipo

Para el análisis de costos se considera el valor de gastos generados en materiales para la construcción del equipo, procesos de construcción desarrollados durante la construcción, mano de obra y costos varios.

4.1.1 Costos de materiales

En la siguiente tabla se muestran todos los valores de los materiales comprados para la construcción del equipo.

Tabla 21. Costos de materiales

Cant.	Material	Especificación	P. unidad (USD)	P. Total (USD)
1	Tubo cuadrado	3/4 x 2mm	7,48	7,48
1	Ángulo	20x2mm	3,54	3,54
1	Plancha de acero inoxidable brillante	1,0mm	48,88	48,88
1	Kilo electrodos 1/8 E7018	Kg	3,38	3,38
28	Tuerca ac. Inox.sae	1/4"	0,06	1,68
24	Arandela plana ac. Inox 304(A2)	1/4"	0,05	1,2
22	Perno Hex ac. Inox SAE	1/4x1"RT	0,1	2,2
6	Perno Hex ac. Inox SAE	1/4x1,1/2"	0,14	0,84
28	Arandela plana ac. Inox 304(A2)	1/4"	0,05	1,4
1	Silicón Rojo Alta Temperatura	300ml	17,22	17,22
2	Disco de corte NORTON Inoxidable	4,5	1,75	3,5
1	Disco de corte	14"	6,8	6,8
1	Plancha de lana de vidrio sin recubrimiento	1,02x60m	2,5	2,5
1	Disco de desbaste	4"	3,07	3,07
2	Planchas de madera triplex	0,45mm	3	6
1	Plancha de acero inoxidable brillante	1,22x1,07x0,40mm	16,67	16,67
1	Tubo de acero Inoxidable	1/2"x1m	3,07	3,07
1	Platina	1m 1/2 " x 1/8	1,75	1,75
1	Eje de acero inoxidable	0,20mx5/8	2,63	2,63
1	Tubo capilar inoxidable	1/2"	11,51	11,51
1	Conectores (tapón) Inox.	1/2" OD	12,34	12,34
2	Conectores (codo) Inox. Macho	1/2"NPT x 1/2"OD	24	48
3	Válvulas (bola) Inox. Roscado	2Cx1/2"	14,24	42,72
1	Conectores Inox. Hembra	1/2"NPT x 1/2"OD	18	18
1	Anticorrosivo Negro	1	3,51	3,51
1	Esmalte Negro	1	3,95	3,95
1	Thiñer	1	1,32	1,32
1	Ácido para soldadura	1	14	14

3	Varillas de aporte de 15		0,25	0,75
1	Varilla de aporte de 32		0,15	0,15
1	Universal	1/2"	1	1
1	Neplo	1/2"	0,5	0,5
1	Acople	1/2"	0,5	0,5
1	Filtro de carbón Activado		39	39
			V.Total	331,06

4.1.2 Costos de procesos de construcción

En la siguiente tabla se muestran todos los procesos mecánicos utilizados para la construcción del equipo.

Tabla 22. Costos de procesos de construcción

Proceso	Costo por operación	Número de operaciones	P. Total (USD)
Torno	8USD, la hora	6	48
Sierra eléctrica	2USD, por corte	5	10
Suelda TIG	35USD, el metro	2 m	70
Dobladora Manual	0,25ctvs por doblez	20	5
Dobladora CNC	2USD, por doblez	25	50
Cortadora CNC	0,2USD, por corte	11	2,2
Cortadora Manual	0,25USD, por corte	4	1
Motor Tool	12USD, día	2	24
Amoladora	15USD, día	3	45
Taladradora	8USD, día	2	16
Esmeril	8USD, día	1	8
Suelda SMAW	40USD, día	1	40
V. Total			319,2

4.1.3 Costos de mano de obra y de diseño

La mano de obra es de dos trabajadores, por un período de 15 días, cada uno con un sueldo de 200 USD, valor establecido por el dueño del taller donde se realizó la construcción del equipo, y 100 USD por la inspección del jefe de área, finalmente se establece un costo de diseño de 10 USD, por un mes.

Tabla 23. Costos de mano de obra y diseño

	Costo por hora (USD)	Horas de trabajo	Valor Total (USD)
Mano de obra	2,5	80	200
Inspección	5	20	100
Costo de diseño	8	120	960
V. Total			1260

4.1.4 Costos varios

Aquellos valores que no son directos, pero también son considerados se relacionan con la movilización y asuntos varios que conlleva la construcción de un equipo.

Tabla 24. Costos varios

Costo Varios	
	(USD)
Alimentación	85,47
Transporte	60
Copias e impresiones	30
V. Total	175,47

4.1.5 Costo total de la inversión del prototipo

El valor total de la inversión es la suma de todos los costos empleados para el desarrollo del prototipo. En la siguiente tabla se muestra todos los valores que fueron invertidos dentro del diseño y construcción del prototipo.

Tabla 25. Costos totales de la inversión

Valor total de la inversión		
Costos de materiales	331,06	USD
Costos de procesos	319,2	USD
Mano de obra y de diseño	1260	USD
Costos Varios	175,47	USD
Valor total	2085,73	USD

4.2 Estudio financiero para construcción de un destilador modelo industrial

Después de haber desarrollado las debidas pruebas de operación del prototipo y comprobar que, en condiciones favorables como un cielo totalmente despejado, se puede obtener 180 ml de agua destilada en menos de 2 horas, mientras que en condiciones críticas se llega a obtener la misma cantidad, pero en un tiempo más prolongado de 4 a 5 horas.

También se logró obtener la capacidad máxima de producción del destilador en un día totalmente despejado y con alimentación constante de líquido de 50 ml cada 15 minutos, en un horario entre las 9 am y 17 pm. La cantidad de agua destilada que se logró obtener es de aproximadamente 2000 ml, además, la producción mínima en un día nublado esta entre 300 a 350 ml.

Con base en las pruebas desarrolladas y para comprobar la rentabilidad de construir un destilador tipo cascada a nivel industrial se hace un análisis financiero dónde se calcula los siguientes parámetros:

- Punto de equilibrio
- Van (Valor Actual Neto)
- TIR (Tasa Interna de Retorno)
- Tiempo de retorno del capital
- Relación costo beneficio

En el desarrollo del análisis financiero se toma como base un destilador Modelo DEA-4, que según Rolco [76] tiene una capacidad de producción de agua destilada de 4 (l/h) para lo cual consume 3000 W y tiene un precio de 1900 USD y es utilizado en laboratorios para la obtención de agua tipo III y IV.

Para tener una producción similar, al destilador DEA-4 en base a la producción máxima del prototipo de este proyecto de aproximadamente 250 (ml/h), se debería construir un equipo que tenga una escala superior al prototipo, es decir de 10:1, siempre y cuando se incremente el número de escalones para mejorar el rendimiento del equipo.

Se asume que se tiene 8 horas de alta intensidad solar tal y como sucedió durante las pruebas del prototipo, la capacidad máxima de generación de agua escalado a nivel industrial sería de 4 litros por hora, logrando así una producción final de 32 litros diarios.

4.2.1 Costos

4.2.1.1 Costos de inversión

Dentro de los costos de inversión, se asume que se necesita cerca de 200 horas de trabajo, con un precio de 8 USD la hora, como se muestra en la Tabla 22. Para aproximar el costo de materiales y procesos necesarios para la construcción se asume que tendría un incremento 5 veces el valor del prototipo, en la siguiente tabla se desglosa los valores de costos que serían necesarios para la construcción de un

destilador solar tipo cascada, con una capacidad de producción de agua destilada de aproximadamente 32 litros por día.

Tabla 26. Costos de inversión para la construcción del destilador

Costo total de la inversión	
	(USD)
Costo de materiales	1655,3
Costos de diseño	1600
Costos de procesos	1596
Costos mano de obra	800
Costos Inspección	200
Costo total de inversión	5851,3

4.2.1.2 Costos de mantenimiento

El equipo debe ser sometido a mantenimiento de limpieza cada 3 meses, por lo que se considera, que el costo del mantenimiento preventivo sería de 300 USD, por el tiempo que se demorarían en desmontar el equipo y hacer la limpieza. Además, el mantenimiento correctivo estaría previsto una vez al año y tendría un costo de 500 USD siempre y cuando se tenga la necesidad de hacer reemplazo de elementos en el equipo.

Tabla 27. Costos de mantenimiento del destilador

COSTOS DE MANTENIMIENTO	
	USD
Mantenimiento preventivo	1200
Mantenimiento correctivo	500
Total anual	1700

4.2.1.3 Costos de operación

Los costos de operación del equipo están en base al consumo de agua de la red pública, la capacidad de producción del equipo es de 32 litros de agua destilada, pero se asume que este equipo tendría un determinado porcentaje de pérdidas, por lo que se determina que el equipo consumiría 40 litros de agua al día.

De acuerdo con la EPMAPS de Quito [77] y el informe del pliego tarifario del 2016, el costo del metro cúbico de agua tiene un precio de 0,72 USD. En la siguiente tabla se muestra el consumo mensual y anual del destilador.

Tabla 28. Costo del agua utilizada en el destilador

COSTOS DEL CONSUMO DE AGUA		
consumo	m³	USD
Diarios	0,04	0,0288
Mensuales	1,2	0,864
anuales	14,6	10,512

Para la distribución del agua se utilizaría botellas de un litro de capacidad que tiene un costo de 0,25 USD; envases que serían adecuados para la distribución de esta agua como se muestran en la siguiente figura



Figura. 411: Envase de un litro para agua destilada.[78]

En la siguiente tabla se muestra el costo anual que se tendría en envases para la distribución del agua.

Tabla 29. Insumos para envasar el agua

COSTO DE LOS ENVASES	
	(USD)
Botellas diarias	32
Costo por botella	0,25
Costo anual	2920

4.2.1.4 Costo debido a la depreciación

Al considerar que la máquina tiene un tiempo de vida útil de 5 años, el valor de pérdida debido a la depreciación según Sullivan *et al.* [79] se calcula con la siguiente ecuación:

$$d_k = \frac{B - VR_N}{N} \quad (79)$$

Donde:

B : Valor base del equipo.

N : Vida útil del equipo.

VR_N : Valor estimado al final de período N .

Para determinar el valor de depreciación del equipo, para cada año, se estima que el valor que tendría el destilador al cumplir los 5 años sería de 500 USD, por los materiales que se podrían reutilizar. Además, el costo base de inversión inicial utilizado para la construcción del equipo que es de 5851,3 USD. Al reemplazar estos valores en la ecuación 79 se tiene el siguiente valor:

$$d_k = \frac{5851,3 - 500}{5} = 1070,26 \text{ USD}$$

4.2.1.5 Costos debido a la inflación

El historial de inflación desde el 2010 hasta el 2016 se muestra en el informe anual del INEC [80] en la siguiente tabla:

Tabla 30. Historial de inflación

Año	Inflación
2010	4,44%
2011	3,17%
2012	5,29%
2013	4,10%
2014	2,92%
2015	3,53%
2016	3,09%
2017	3,35%
2018	3,435%
2019	3,52%
2020	3,605%
2021	3,69%
2022	3,775%

En la tabla anterior a partir del año 2017 se desarrolla una proyección y se generan los valores de inflación aproximados hasta el año 2022. En la siguiente tabla se muestra de forma resumida todos los costos invertidos para la producción de agua a nivel industrial con el destilador solar, sin considerar la inversión inicial.

Así como también se indica cuáles son los costos variables (V), conocidos también como costos directos los cuales dependen del volumen de producción del destilador y de los costos fijos o indirectos que son los que no depende de la producción ya que se incurre en ellos se opere o no el destilador. En este proyecto es la depreciación del equipo.

Tabla 31. Resumen total de costos

COSTOS DE LA PRODUCCIÓN TOTAL PARA 5 AÑOS											
		AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4		AÑO 5	
		VALOR	S.TOTAL	VALOR	S.TOTAL	VALOR	S.TOTAL	VALOR	S.TOTAL	VALOR	S.TOTAL
a)	COSTOS DIRECTOS										
V	Costos mantenimiento	1700,00		1759,84		1823,28		1890,56		1961,93	
V	Materia prima (agua)	10,00		10,35		10,73		11,12		11,54	
V	Insumos (botellas)	2920,00	4630,00	3022,78	4792,98	3131,76	4965,76	3247,32	5149,00	3369,90	5343,37
b)	COSTOS INDIRECTOS										
F	Depreciación	1070,26	1070,26	1107,02	1107,02	1146,93	1146,93	1189,25	1189,25	1234,15	1234,15
Total:			5700,26		5900,00		6112,69		6338,25		6577,52

Los valores Subtotales que se muestran en la tabla anterior corresponden a los costos fijos y variables de cada año.

4.2.2 Presupuestos de ingresos

Para determinar el presupuesto de ingreso que se generaría por medio del destilador, se debe poner un precio al agua destilada para comercializarla. Con referencia a distintas fuentes de comercialización en tres ciudades del país, se genera la siguiente tabla de valores de precios dentro del mercado nacional.

Tabla 32. Precio del agua destilada por distintas productoras

Entidad	Costo por galón (USD)	Costo por litro (USD)	Ciudad de ubicación
PURITECH	2,60	0,69	Quito

FAMPROJECT	2,80	0,74	Ambato
Laboratorios VIAR	2,50	0,66	Guayaquil
Promedio	2,63	0,70	

En el Anexo J, se muestra los catálogos para las empresas mencionadas, a través de las mismas se tiene una idea del costo de comercialización del agua por litro, sacando un promedio se obtuvo un costo de 0,70 USD el litro, valor que será considerado para el desarrollo de este proyecto. Según Tarquin *et al.* [81], para determinar el costo de un determinado producto para años futuros se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$PF = PA \cdot (1 + f)^n \quad (80)$$

Donde:

PF : Precio Futuro

PA : Precio Actual

f : Inflación.

n : Número del año

Además, se considera que el equipo tendrá 5 años de vida útil por lo que en la siguiente tabla se muestra los valores de inflación y los precios para los años futuros encontrados con la ecuación 79.

Tabla 33. Proyección de la inflación y precio futuro del agua

	Año	Inflación %	Incremento debido a la inflación (USD)	Precio futuro (USD)
Año 0	2017	3,35	0	0,70
Año 1	2018	3,435	0,024045	0,72
Año 2	2019	3,52	0,02464	0,75
Año 3	2020	3,605	0,025235	0,77
Año 4	2021	3,69	0,02583	0,80
Año 5	2022	3,775	0,026425	0,83

En el año 2017 no se aplica la inflación al producto, ya que el valor de 0,70 USD es actual, es decir, está incluido en el precio del valor de la inflación para este año, con referencia a la Tabla 32 se toman los precios de cada litro para los años futuros, generando la siguiente tabla:

Tabla 34. Ingreso por año

PRESUPUESTO DE INGRESO		
PRIMER AÑO		
Producción	P / U	Total
Litros/año	\$/litro	USD
11.680,00	0,72	8409,60
SEGUNDO AÑO		
Producción	P / U	Total
Litros/año	\$/litro	USD
11.680,00	0,75	8760,00
TERCER AÑO		
Producción	P / U	Total
Litros/año	\$/litro	USD
11.680,00	0,77	8993,60
CUARTO AÑO		
Producción	P / U	Total
Litros/año	\$/litro	USD
11.680,00	0,80	9344,00
QUINTO AÑO		
Producción	P / U	Total
Litros/año	\$/litro	USD
11.680,00	0,83	9694,40

4.2.3 Punto de Equilibrio

El punto de equilibrio según Tarquin *et al.* [81] corresponde al valor donde no existen ni pérdidas ni ganancias una vez que se ha iniciado la producción, y sin considerar la inversión inicial, se lo determina mediante las siguientes ecuaciones:

$$Y1 = P_Q \cdot r_{unid} \quad (81)$$

$$Y2 = F + P_Q \cdot v_{unid} \quad (82)$$

Donde:

$Y1$: Ingreso

$Y2$: Costos Totales

F : Costos fijos (ver tabla 31)

r_{unid} : Precio del producto (ver tabla 33)

P_Q : Producción (ver tabla 34)

El costo variable por unidad se determina con la siguiente expresión:

$$v_{unid} = \frac{V}{P_Q} \quad (83)$$

Donde:

V : Costos variables, ver tabla 31

4.2.3.1 Ingresos

La siguiente tabla se genera a partir de la ecuación 81 y cada valor de Y1 corresponde a los ingresos netos producidos para cada año de forma individual, siempre y cuando se tenga una producción constante.

Tabla 35. Ingresos por año

Año	Producción (l/año)	Y1 (USD/año)
0	0	0
1	11680,00	8409,60
2	11680,00	8760,00
3	11680,00	8993,60
4	11680,00	9344,00
5	11680,00	9694,40

La tabla que se muestra a continuación tiene los ingresos acumulados al finalizar cada año, es así que al concluir el primer año de producción se tiene un ingreso de 8409,60 USD, y al finalizar el segundo año, se suma el ingreso del primer año y del segundo obteniendo un valor de 17169,60 USD y así sucesivamente se lo realiza para el resto de años.

Tabla 36. Ingresos acumulados

Año	Producción (l)	Y1 (USD)
0	0	0
1	11680,00	8409,60
2	23360,00	17169,60
3	35040,00	26163,20
4	46720,00	35507,20
5	58400,00	45201,60

4.2.3.2 Costos totales

En la siguiente tabla se sigue el mismo procedimiento de la Tabla 35, con la única diferencia que en este caso se utiliza la ecuación 82, y los valores que se muestran corresponden a los costos que se tiene cada año para la producción y envasado del agua destilada.

Tabla 37. Costos totales por año

Año	Producción (l/año)	Y2 (USD/año)
0	0	1070,26
1	11680,00	5700,26
2	11680,00	5900,00
3	11680,00	6112,69
4	11680,00	6338,25
5	11680,00	6577,52

La tabla que se muestra a continuación representa el costo total al finalizar cada año, su proceso de llenado es similar al de la Tabla 35.

Tabla 38. Costos totales acumulados

Año	Producción (l)	Y2 (USD)
0	0	1070,26
1	11680,00	6770,52
2	23360,00	12670,52
3	35040,00	18783,21
4	46720,00	25121,47
5	58400,00	31698,99

Al graficar los valores acumulados tanto de producción como de ingresos y costos de las Tablas 36 y 38, se obtiene la Figura 42.

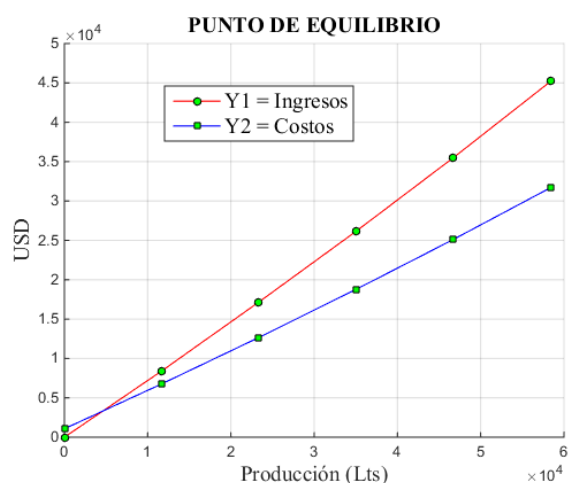


Figura. 422: Punto de equilibrio de producción

Para determinar el punto de intersección de la figura anterior se igualan las ecuaciones 81 y 82, ya que en el punto de intersección de los costos y los ingresos son iguales, quedando expresados de la siguiente forma:

$$Y1 = Y2$$

$$P_Q \cdot r_{unid} = F + P_Q \cdot v_{unid}$$

Al despejar P_Q se obtiene la siguiente expresión:

$$P_Q = \frac{F}{(r_{unid} - v_{unid})}$$

En la Figura se puede ver que el punto de intersección esta antes de finalizar el primer año, por lo que se toma los valores de costos fijos, costos variables, precio, y producción del primer año para determinar el punto de equilibrio, expresado la ecuación de la siguiente forma:

$$P_Q = \frac{F}{(r_{1unid} - v_{1unid})} \quad (84)$$

$$v_{1unid} = \frac{4630}{11680} = 0,40 \frac{\text{USD}}{1}$$

En la ecuación 8 se reemplazan los valores y se obtiene el siguiente valor:

$$P_{equil} = \frac{1070,26}{(0,72 - 0,4)} = 3344,56 \approx 3345 \text{ litros}$$

El valor encontrado de 334456 litros, corresponde a la cantidad que se debe vender para recuperar la inversión realizada para la producción del agua. Así como también, un cierto porcentaje de la inversión inicial de la construcción del equipo.

4.2.4 Evaluación económica del proyecto

4.2.4.1 Utilidades

La utilidad del proyecto según Tarquin *et al.* [81] se determina con la siguiente ecuación:

$$U = I - CT \quad (85)$$

Donde:

U : Utilidades

I : Ingresos

CT : Costos Totales

Al reemplazar los valores totales para cada año de las Tablas 31 y 34 en la ecuación 85, se genera la siguiente tabla, donde se puede ver la utilidad neta efectiva para cada año de producción.

Tabla 39. Utilidades

UTILIDAD NETA POR AÑO					
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos netos	8409,60	8760,00	8993,60	9344,00	9694,40
Costos de producción	5700,26	5900,00	6112,69	6338,25	6577,52
Utilidad neta efectiva	2709,34	2860,00	2880,91	3005,75	3116,88

Con los valores de la tabla anterior es posible generar el flujo de operación, donde se suma los valores netos invertidos desde el año cero, y la utilidad neta generada desde el primer año de operación, también se debe sumar los valores de depreciación, pero este valor ya fue considerado como costo fijo en la Tabla 31.

Tabla 40. Flujo Neto

CÁLCULO DEL FLUJO DE CAJA EN OPERACIÓN						
RUBROS/AÑOS	0	1	2	3	4	5
Inversiones	(5851,30)					
Utilidad Neta		2709,34	2860,00	2880,91	3005,75	3116,88
Flujo De Operación:	-5851,30	2709,34	2860,00	2880,91	3005,75	3116,88

4.2.4.2 Valor Actual Neto

Según Jimenéz *et al.* [82] se lo conoce como valor actual neto, el mismo que consiste en la rentabilidad de la inversión en un determinado proyecto, es decir, dependiendo si el resultado es negativo o positivo, se realizará o no la inversión, y se lo determina con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{V_t}{(1-i)^n} - I_0 \quad (86)$$

Donde:

V_t : Flujos efectivos por período

I_0 : Inversión inicial

i : Tasa de interés

n : Períodos

Para la evaluación de proyectos, el VAN presenta las siguientes características:

$VAN > 0$: El proyecto es viable, genera ganancias.

$VAN = 0$: El proyecto se encuentra en un punto indeterminado, ya que no se logra establecer si habrá pérdidas o ganancias.

$VAN < 0$: El proyecto no es viable, ya que pueden existir grandes pérdidas.

Para generar la siguiente tabla se utiliza la ecuación 86, donde se utiliza la inversión utilizada para la construcción del equipo, conforme a la Tabla 23, mientras que la tasa de interés se toma el valor de 12%, el mismo que retomó el país desde la postulación de su nuevo gobierno, en mayo del 2017.

Tabla 41. Cálculo del VAN

CÁLCULO DEL VAN				
AÑOS	INVERSIONES	UTILIDAD NETA	FLUJO NETO	FLUJO N. ACT. (12 %)
0	-5851,30		-5851,30	-5851,30
1		2709,34	2709,34	2419,05
2		2860,00	2860,00	2279,97
3		2880,91	2880,91	2050,57
4		3005,75	3005,75	1910,21
5		3116,88	3116,88	1768,60
			VAN	4577,11

De la Tabla anterior se puede ver que se tiene un valor actual neto de 4577,11 y de acuerdo con las características del VAN el proyecto es viable.

4.2.4.3 Tasa Interna de Retorno

Conforme a Jiménez *et al.* [82] se lo denomina como tasa interna de retorno y se lo determina con la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{V_t}{(1-TIR)^n} - I_0 = 0 \quad (87)$$

De la expresión anterior se puede ver que la TIR es el valor que hace cero al VAN y para determinarlo se lo realiza de la siguiente forma:

- Se utiliza el VAN calculado con el 12% de interés Tabla 41
- Se asume un valor de interés del 80%, para encontrar otro valor de VAN, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 42. Cálculo de la TIR

CÁLCULO DE LA TIR					
AÑOS	INVERSION	UTILIDAD NETA	FLUJO NETO	F. N. Act (12%)	F. N. Act. (80%)
0	-5851,3		-5851,3	-5851,3	-5851,3
1		2709,34	2709,34	2419,05	1505,18
2		2860	2860,00	2279,97	882,71
3		2880,90	2880,90	2050,57	493,982
4		3005,74	3005,74	1910,20	286,32
5		3116,87	3116,87	1768,60	164,90
			VAN	4577,10	-2518,13

Con los valores de VAN para los distintos intereses se genera la siguiente Tabla:

Tabla 43. Interpolación para hallar la (TIR)

VAN	Tasa de interés
4577,10	Primer interés = 12%
0	TIR = x
-2518,13	Segundo interés = 80%

En la Tabla anterior se genera una interpolación lineal y se obtiene el valor de la TIR que se muestra a continuación:

$$TIR = \left[80 - \left(\frac{(80 - 12) \cdot (-2518,13 - 0)}{-2518,13 - 4577,10} \right) \right] = 55,8\%$$

4.2.4.4 Tiempo de recuperación de la inversión (PRI)

Según Ross *et al.* [83] el tiempo de recuperación de la inversión consiste en la cantidad de tiempo necesario para que una inversión genere flujos de efectivo suficientes, para así poder recuperar su costo inicial. Para determinarlo se realiza la siguiente tabla,

donde se muestra el flujo neto adquirido por año y la acumulación del mismo a través del tiempo.

Tabla 44. Tabla de flujos netos para calcular (PRI)

Año	Flujo neto	Flujo acumulado
0	-5851,30	-5851,30
1	2709,34	-3141,96
2	2860,00	-281,96
3	2880,91	2598,95
4	3005,75	5604,69
5	3116,88	8721,57

Al graficar los valores de la Tabla anterior se tiene la siguiente figura:

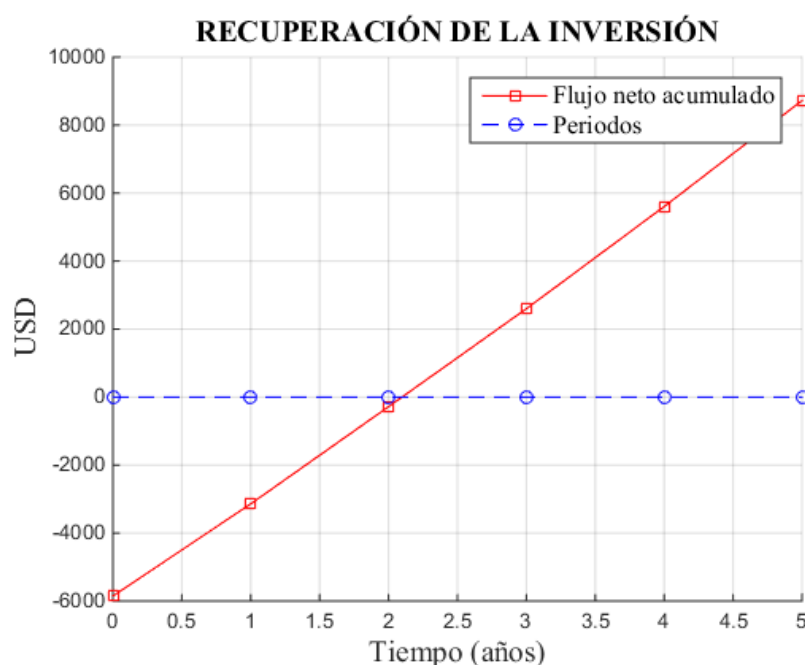


Figura. 433: Recuperación de la inversión

Según Ross *et al.* [83] para encontrar el punto de intersección entre el flujo neto acumulado y la línea, se utiliza la regla del período de recuperación, teniendo la siguiente expresión:

$$PRI = A + \frac{|B|}{C} \quad (88)$$

Donde:

A : Último año donde existe flujo negativo

B : Valor acumulado correspondiente al año A

C : Flujo acumulado al siguiente año de A

Reemplazando los valores en la ecuación 88, se obtiene el siguiente valor:

$$PRI = \left[2 + \left(\frac{|-281,96|}{2598,95} \right) \right] = 2,1$$

El valor obtenido corresponde a 2 años y 1,2 meses, que es el tiempo en el que se recupera la inversión realizado para la construcción del equipo.

4.2.4.5 Relación costo beneficio

Para determinar esta relación conforme a Jiménez *et al.* [82] se debe calcular el VAN para los ingresos y los costos, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 45. Relación costo beneficio

RELACIÓN BENEFICIO/COSTO				
AÑOS	INGRESOS NETOS	VANi(12%)	COSTOS	VANc(12%)
1	8409,60	7508,57	5700,26	5089,52
2	8760,00	6983,42	5900,00	4703,44
3	8993,60	6401,47	6112,69	4350,90
4	9344,00	5938,28	6338,25	4028,07
5	9694,40	5500,86	6577,52	3732,26
Totales:		32332,60		21904,19

La relación beneficio costo se calcula dividiendo el (VANi) para el (VANc) y se obtiene el siguiente valor

$$R_{C/B} = \left[\frac{32332,6}{21904,19} \right] = 1,47$$

Al haber obtenido el valor superior a la unidad, este proyecto resulta muy atractivo para su inversión.

3.7 Estudio Energético y huella de carbono

En esta sección se hace una comparación entre el destilador solar tipo cascada y el equipo de destilación tipo DEA-4, para encontrar las ventajas y desventajas.

4.3 Destilador tipo DEA-4

4.3.1 Consumo energético

Se debe considerar que el año tiene 365 días de los cuales existen 104 días que conforman los sábados y domingos, a los que se le añade 30 días por feriados. Asumiendo que el destilador prototipo trabajará 8 horas diarias durante todo el año sin contar los fines de semana y feriados, llegará a trabajar por 1848 horas durante todo el año.

De acuerdo con las especificaciones técnicas del destilador tipo DEA-4, para producir 4 litros de agua consume 3000 w y necesita de una fuente de 220 V, por lo que el consumo energético durante todo el año es el siguiente:

$$C_{energético_{año}} = 3 \text{ KW} \cdot 1848 \text{ h} = 5544 \text{ KWh}$$

4.3.2 Producción de CO₂

Para calcular la cantidad de producción de CO₂, según Gomera *et al.* [84], se debe utilizar la siguiente expresión:

$$Huella \text{ de carbono } (t \text{ CO}_2) = D_{Actividad} \cdot F_{Emisiones} \quad (89)$$

Donde:

$D_{actividad}$: Dato de la actividad

$F_{Emisiones}$: Factor de emisiones

Para determinar la huella de carbono del consumo energético, el factor de emisiones es de $0,29 \frac{kg \cdot CO_2}{kWh}$ [84]. Entonces la producción de CO₂ durante todo el año es de:

$$Huella \text{ de carbono } (t \text{ CO}_2) = 5544 \cdot 0,29 = 1,607 \text{ t CO}_2$$

Para encontrar la producción de CO₂ por el consumo de agua el factor de emisiones es de $0,1427 \frac{kg \cdot CO_2}{m^3}$. De acuerdo con Pobel [85] el destilador modelo 706 posee una capacidad de producción de agua similar al DEA-4, es decir consume 80 litros de agua por hora, tomando este valor como referencia el consumo de agua por año es de:

$$80 \frac{l}{h} \cdot 1848 h = 147840 \text{ litros} \approx 147,8 m$$

Se tiene una producción de CO₂, por consumo de agua de:

$$Huella\ de\ carbono\ (t\ CO_2) = (147\ m^3) \cdot (0,1427) \left[\frac{kg\ CO_2}{m^3} \right]$$

$$Huella\ de\ carbono\ (t\ CO_2) = 0,021\ t\ CO_2$$

Es así como la producción de dióxido de carbono al año por el destilador es de 1,628 toneladas de CO₂.

4.3.3 Destilador solar tipo cascada.

El destilador no consume energía eléctrica durante todo el año, y su consumo de agua en todo el día es de 40 litros, es decir al año tendría 14600 litros que corresponde a 14,6 m³ de agua teniendo una producción de CO₂ de:

$$Huella\ de\ carbono\ (t\ CO_2) = 14,6\ m^3 \cdot 0,1427 \frac{kg \cdot CO_2}{m^3} = 0,0021\ t\ CO_2$$

4.3.4 Análisis de resultados

Al hacer una comparación entre el destilador DEA-4 y el solar se tiene lo siguiente:

- La producción de CO₂ es inferior en el destilador solar por aproximadamente una tonelada, es decir que es amigable con el medio ambiente ya que la producción de dióxido de carbono por el destilador solar es de 2,08 kg CO₂ en el año, que es un valor muy bajo.
- El consumo de agua es otra forma de ayudar al medio ambiente, siendo un ahorro significativo de 600 litros diarios de agua en comparación al destilador DEA-4.
- La desventaja entre los dos destiladores es que el Modelo DEA-4 tiene un tamaño que bordea 80 cm³ de espacio, mientras que el solar superaría los 4m³. Además, el costo de consumo de agua sería menor en el destilador solar y en épocas de poca radiación no se conseguiría producir el agua que corresponde a su capacidad máxima de producción.

Conclusiones del capítulo

Al haber obtenido un valor de relación costo beneficio superior a la unidad, este proyecto resulta muy atractivo para su inversión a nivel industrial, ya que su capacidad de producción de agua destilada es de aproximadamente 32 litros por día, trabajando 1848 horas al año sin contar feriados ni fines de semana, teniendo estos datos se llegó a calcular que el tiempo de recuperación de la inversión es de 2 años y 1,2 meses, es decir se debe vender 334456 litros de agua destilada, para poder recuperar la inversión realizada y también un cierto porcentaje de la inversión inicial de la construcción del equipo.

CONCLUSIONES

- Mediante la investigación de distintos proyectos desarrollados a nivel mundial sobre destiladores solares, se obtuvo características importantes a nivel de construcción y ensamblaje, dentro de los destiladores del tipo cascada, uno de los parámetros más relevantes fueron los encontrados en la investigación de Saettone *et al.* [23], donde en su prototipo los depósitos se pintaron de negro mate, con el fin de lograr una mayor absorción de calor.
- Se logró determinar la cantidad de radiación, temperatura que el destilador capta mediante termocuplas tipo J las mismas que fueron instaladas al interior del destilador en la Figura 36 muestra fluctuaciones muy variadas donde la radiación supera los 1000 W/m^2 y la temperatura del agua está por encima de los 80°C . Además, se tiene radiaciones bajo los 200 W/m^2 y temperaturas inferiores a los 40°C .
- A partir de la capacidad de producción de 180 ml al día, se estableció las dimensiones del equipo, así como también se diseñó la forma estructural que tiene este destilador que es en forma de gradas, el número de depósitos que serían necesarios para que contengan un volumen determinado de agua, en el cual se consideró un 20% del volumen inicial, por pérdidas o fugas.
- El agua destilada que se produce tiene $4,16 \text{ m} \cdot \text{g} / \text{L}$ de sodio, conductividad de $66,8 \mu \cdot \text{s} / \text{cm}$ a $20,4^\circ\text{C}$, cloruros $<5 \text{ m} \cdot \text{g} / \text{L}$ y potencial de hidrógeno 6,4 ver Anexo E y de acuerdo con la norma ASTM estas características se aproximan al agua tipo II. Se obtuvo agua más pura a la establecida en este proyecto (agua tipo IV) y se debe a las temperaturas elevadas que se alcanza en el interior del equipo que están alrededor de los 80°C .
- Para el desarrollo del diseño de la parte térmica, el aislamiento, espesor de la cubierta, ángulo de inclinación y dimensiones, se utilizó datos de documentos científicos. Los valores que fueron tomados en cuenta para los cálculos son: la temperatura interna de los destiladores entre 50 y 55°C , temperatura de ebullición del agua de 91°C , coeficiente mínimo de transferencia de calor del

viento de (5 w/m^2) , emisividad de los materiales y sus propiedades térmicas, etc. De esta forma se aseguró el funcionamiento del equipo.

- La construcción del equipo fue realizada en talleres especializados de la ciudad de Quito con ayuda de personal capacitado y basándose en planos elaborados en este proyecto (ver Anexo K), donde se especifican dimensiones, materiales y procesos de soldadura necesarios para la fabricación del destilador y la estructura que lo soporta.
- Finalizado el protocolo de pruebas se encontraron los parámetros de funcionamiento del destilador que son: apertura de las válvulas de entrada del fluido, tiempos de alimentación del agua de la red, período en el que se logra obtener 180ml de agua destilada, capacidad máxima de producción en días nublados y despejados (350 ml a 2000 ml entre 4 y 8 horas de operación) respectivamente.
- A través de los datos obtenidos, se desarrolló cálculos y gráficas comparativas. Donde la eficiencia del destilador aumenta; cuando la variación de las temperaturas entre la superficie cubierta y el agua condensada es alta. Ver Figura 38.
- Por medio de las Figuras 32 a la 36 se verificó que el comportamiento de la radiación influye de forma directa en las temperaturas. Pues la tendencia de las curvas es similar, con pequeñas variaciones en los puntos donde la radiación baja de forma inesperada.
- También se comprobó que la velocidad del viento favorece a disminuir la temperatura del vidrio y mejorar el rendimiento de producción del destilador, ya que, al generarse una variación de temperatura grande entre el agua de evaporación y el vidrio, hace que la rapidez con la que se produce la condensación sea alta. Ver Figura 40.
- Mediante el análisis financiero se estableció que sería factible la construcción de este proyecto a nivel industrial ya que la relación costo beneficio es superior a la unidad por los valores obtenido del VAN y la TIR = 2 años y 1,2 meses, es decir se debe vender 334456 litros de agua destilada.

RECOMENDACIONES

- Desarrollar el estudio para la instalación de un sistema automatizado de alimentación y recolección de agua, a través de la incorporación de sensores y actuadores comandados por un circuito electrónico.
- Investigar formas sofisticadas de recubrimiento de superficies para la placa absorbente e implementarlo en el destilador, de tal forma que se evite problemas de levantamiento de la capa negra que deben tener el fondo de los depósitos de agua.
- Instalar un sistema de rotación automático para el destilador, mediante la implementación de foto celdas y motores para que el equipo tome la mayor cantidad de radiación solar generada durante todo el día.
- Elaborar pruebas con horarios extremos que pueden ir desde las 6 am hasta las 20 pm, con el fin de ver el comportamiento de las temperaturas y además de conocer la capacidad de producción de agua destilada durante este período, donde se tendrían condiciones altas y bajas de radiación.
- Realizar mantenimiento preventivo cada 6 meses, donde la actividad principal sea la limpieza profunda de los siguientes elementos: placa absorbente, cubierta de vidrio, válvulas de agua, además, verificar el estado de las soldaduras y los aislantes, con el fin de aumentar la vida útil del equipo.

Bibliografía

- [1] P. M. Buendía, *Prácticas de química orgánica*. Universidad de Murcia, 1989.
- [2] R. A. Badorrey Miguel, J. A. Gálvez Lafuente, and M. del P. López Ram de Viu, “Técnicas básicas de laboratorio químico - Destilación,” 2013. [Online]. Available: http://ocw.unizar.es/ocw/ciencias-experimentales/tecnicas-basicas-de-laboratorio-quimico/teoria/Destilacion_teoría.pdf.
- [3] V. Belessiotis, S. Kalogirou, and E. Delyannis, *Thermal solar desalination : methods and systems*. .
- [4] F. Farshchi Tabrizi, M. Khosravi, and I. Shirzaei Sani, “Experimental study of a cascade solar still coupled with a humidification-dehumidification system,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 115, pp. 80–88, 2016.
- [5] J. C. Torchia-núñez, “Discusión sobre el modelado de la destilación solar : experimentos y teoría Discussion on solar still modeling : experimental and theoretical approaches,” 2013.
- [6] E. Moya, “Desalinización del agua del mar mediante energías renovables,” *Actas del I y II Semin. del agua*, pp. 199–226, 1997.
- [7] M. Castillo, “Desarrollo y análisis energético de destiladores solares de agua con convección natural y convección forzada,” Universidad Nacional Autónoma de México, 2008.
- [8] F. Jiménez Otárola, “El Ciclo Hidrológico Y El Hombre: Hacia Un Uso Sostenible Del Agua,” Bib. Orton IICA / CATIE, Guatemala, 1994.
- [9] A. V. Luis, G. C. Oblitas, and A. V. Luis, “Cálculo y diseño de un destilador solar para la producción de Pisco Gonzalo Chávez Oblitas.”
- [10] A. E. Kabeel, Z. M. Omara, F. A. Essa, and A. S. Abdullah, “Solar still with condenser - A detailed review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 839–857, 2016.
- [11] M. C. Tobajas Vazquez, “Configuración de las instalaciones de energía solar fotovoltaica,” in *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*, Cuarta., Barcelona: S.L. Ediciones Ceysa. Cano Pina, 2012, p. 25.
- [12] CONELEC, “Atlas solar del Ecuador,” *Conelec*, pp. 1–51, 2008.
- [13] J. L. V Labarta, *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Editorial Donostiarra, S.A., 2012.
- [14] S. Qazi, *Standalone Photovoltaic (PV) Systems for Disaster Relief and Remote Areas*. 2016.
- [15] C. S. Talamantes, “Fototest una herramienta indispensable en el diagnóstico de las fotodermatitis,” *Enfermería Dermatológica*, pp. 27–34, 2010.

- [16] K. Kalidasa Murugavel, K. K. S. K. Chockalingam, and K. Srithar, "Progresses in improving the effectiveness of the single basin passive solar still," *Desalination*, vol. 220, no. 1–3, pp. 677–686, 2008.
- [17] T. Elango and K. Kalidasa Murugavel, "The effect of the water depth on the productivity for single and double basin double slope glass solar stills," *Desalination*, vol. 359, pp. 82–91, 2015.
- [18] D. Dsilva Winfred Rufuss, S. Iniyan, L. Suganthi, and P. A. Davies, "Solar stills: A comprehensive review of designs, performance and material advances," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 63, pp. 464–496, 2016.
- [19] S. Abdallah, M. M. Abu-khader, and O. Badran, "Effect of various absorbing materials on the thermal performance of solar stills," *DES*, vol. 242, no. 1–3, pp. 128–137, 2009.
- [20] L. Sahota and G. N. Tiwari, "Effect of Al₂O₃ nanoparticles on the performance of passive double slope solar still," *Sol. ENERGY*, vol. 130, pp. 260–272, 2016.
- [21] F. F. Tabrizi, M. Dashtban, H. Moghaddam, and K. Razzaghi, "Effect of water flow rate on internal heat and mass transfer and daily productivity of a weir-type cascade solar still," *Desalination*, vol. 260, no. 1–3, pp. 239–247, 2010.
- [22] F. B. Ziabari, A. Z. Sharak, H. Moghadam, and F. F. Tabrizi, "Theoretical and experimental study of cascade solar stills," *Sol. Energy*, vol. 90, pp. 205–211, 2013.
- [23] E. Saettone, "Análisis comparativo entre diferentes destiladores solares de agua marina," *Appl. Sol. Energy*, no. Idic, pp. 17–21, 2015.
- [24] A. Roig Rassi, "La destilación solar," *Eco Sol.*, vol. 14, p. 1, 2005.
- [25] M. Edalatpour, K. Aryana, A. Kianifar, G. N. Tiwari, O. Mahian, and S. Wongwises, "Solar stills: A review of the latest developments in numerical simulations," *Sol. Energy*, vol. 135, pp. 897–922, 2015.
- [26] Sitio Solar, "Los destiladores solares." 2011.
- [27] A. D. Cota Espericueta, "Introducción a la Destilación Solar," Universidad de Sonora, 1995.
- [28] P. J. Morcillo Valencia, "evaluación de la produccion de agua dulce mediante un destilador solar alimentado con agua de mar," *Univ. Técnica Luis Vargas Torres Esmeraldas*, pp. 1–107, 2015.
- [29] F. René, H. Bautista, J. I. Morán, U. Para, O. Al, and T. De, "Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la Escuela de Ingeniería Química," Universidad del Salvador, 2012.
- [30] F. Ramírez Quirós, "Control de calidad en las aguas de consumo humano análisis de los

principales parámetros técnicas analíticas aguas embotelladas control de calidad del agua destinada al consumo humano.”

- [31] A. International, “Reagent Water 1,” *ASTM Int.*, vol. 51, no. 7916, pp. 4–6, 2001.
- [32] The National Institutes of Health, “Laboratory Water,” *Div. Tech. Resour.*, pp. 1–10, 2013.
- [33] W. Orange, “Good Laboratory Practice for the Purity of Water,” no. April, p. 2013, 2013.
- [34] P. V. Kumar, A. Kumar, O. Prakash, and A. Kumar, “Solar stills system design : A review,” vol. 51, pp. 153–181, 2015.
- [35] S. Kalogirou, *Solar Energy Engineering: processes and system*. USA, 2009.
- [36] B. Jamil, A. T. Siddiqui, and N. Akhtar, “Engineering Science and Technology , an International Journal Estimation of solar radiation and optimum tilt angles for south-facing surfaces in Humid Subtropical Climatic Region of India,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 19, no. 4, pp. 1826–1835, 2016.
- [37] S. Yadav and K. Sudhakar, “Different domestic designs of solar stills: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 47, pp. 718–731, 2015.
- [38] Y. A. Çengel and A. J. Ghajar, *Transferencia de calor y masa*, Cuarta. México D.F: McGraw-Hill, 2011.
- [39] M. Montazeri, A. Banakar, and B. Ghobadian, “Design and Evaluation of a New Absorber Plate for Cascade Solar Still,” *Tech. J. Eng. Appl. Sci.*, pp. 1666–1675, 2013.
- [40] C. Elango, N. Gunasekaran, and K. Sampathkumar, “Thermal models of solar still - A comprehensive review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 47, pp. 856–911, 2015.
- [41] O. Mahian and A. Kianifar, “Mathematical modelling and experimental study of a solar distillation system,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 225, pp. 1203–1212.
- [42] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, *Fundamentos de transferencia de calor*. Pearson Educación, 1999.
- [43] S. A. Kalogirou, “Seawater desalination using renewable energy sources,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 31, no. 3, pp. 242–281, 2005.
- [44] P. T. Tsilingiris, “The application and experimental validation of a heat and mass transfer analogy model for the prediction of mass transfer in solar distillation systems,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 50, no. 1, pp. 422–428, 2013.
- [45] F. Kreith, R. M. Manglik, and M. S. Bohn, *Principios de transferencia de calor*. Cengage Learning, 2012.

- [46] M. M. Rahman, H. F. Öztö, A. Ahsan, M. A. Kalam, and Y. Varol, "Double-diffusive natural convection in a triangular solar collector," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 39, no. 2, pp. 264–269, 2012.
- [47] R. Sathyamurthy *et al.*, "A Review of integrating solar collectors to solar still," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, no. October, pp. 1–28, 2016.
- [48] A. A. El-Sebaei, M. R. I. Ramadan, S. Aboul-Enein, and M. El-Naggar, "Effect of fin configuration parameters on single basin solar still performance," *Desalination*, vol. 365, pp. 15–24, 2015.
- [49] H. Azari, "Simulation of heat and mass transfer in suns river solar distillation houman azari," University of Texas at El Paso, 2014.
- [50] M. Verde, K. Harby, and J. M. Corberán, "Optimization of thermal design and geometrical parameters of a flat tube-fin adsorbent bed for automobile air-conditioning," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 111, pp. 489–502, 2017.
- [51] B. Miguel and J. Jorge, "Simulation of solar still processes of salt water," *Tech. Univ. Lisbon*.
- [52] S. A. El-Agouz, Y. A. F. El-Samadony, and A. E. Kabeel, "Performance evaluation of a continuous flow inclined solar still desalination system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 101, pp. 606–615, 2015.
- [53] C. M. and A. Yadav, "Water desalination system using solar heat: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 1308–1330, 2017.
- [54] Z. Chen *et al.*, "Analysis of heat and mass transferring mechanism of multi-stage stacked-tray solar seawater desalination still and experimental research on its performance," *Sol. Energy*, vol. 142, pp. 278–287, 2017.
- [55] S. W. Sharshir, N. Yang, G. Peng, and A. E. Kabeel, *Factors affecting solar stills productivity and improvement techniques: A detailed review*, vol. 100. Elsevier Ltd, 2016.
- [56] G. Xiao *et al.*, "A review on solar stills for brine desalination," *Appl. Energy*, vol. 103, pp. 642–652, 2013.
- [57] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. Elsevier Science, 2013.
- [58] U. De Sevilla, *Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor*, vol. 3. 2013.
- [59] H. Aghaei Zoori, F. Farshchi Tabrizi, F. Sarhaddi, and F. Heshmatnezhad, "Comparison between energy and exergy efficiencies in a weir type cascade solar still," *Desalination*, vol. 325, pp. 113–121, 2013.
- [60] P. K. Srivastava and S. K. Agrawal, "Experimental and theoretical analysis of single sloped

basin type solar still consisting of multiple low thermal inertia floating porous absorbers,” *Desalination*, vol. 311, pp. 198–205, 2013.

- [61] Climate-data.org, “Clima Quito: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Quito.” [Online]. Available: <https://es.climate-data.org/location/1012/>. [Accessed: 03-Feb-2017].
- [62] J. Malarría, J. Feugeas, M. Parodi, A. Fourty, and R. Tinivella, *Prácticas de procesos fluidotérmicos: Medida de viscosidad de fluidos*, 1st ed. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2008.
- [63] I. Avilez, *Tablas de vapor*. México D.F: Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1970.
- [64] P. T. Tsilingiris, “Theoretical derivation and comparative evaluation of mass transfer coefficient modeling in solar distillation systems - The Bowens ratio approach,” *Sol. Energy*, vol. 112, pp. 218–231, 2015.
- [65] Goodfellow, “Propiedades y características de todos los polímeros,” in *Goodfellow (All Polymers)*, Inglaterra, p. 235.
- [66] B. V Karlekar and R. M. Desmond, *Transferencia de calor*. Nueva Editorial Interamericana, 1985.
- [67] P. Stackhouse W, “NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables.” [Online]. Available: https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=180012&lat=-78.507&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=&p=grid_id&p=PS&step=2&lon=-0.207. [Accessed: 14-Jun-2017].
- [68] Goodfellow, “Propiedades de distintas aleaciones,” in *Goodfellow (Aleación)*, Goodfellow, Ed. España, 2017, pp. 1–36.
- [69] Ministerio de Fomento. Gobierno de España, “Catálogo de elementos constructivos del CTE,” vol. 3, p. 141, 2010.
- [70] P. Fernández Diez, *Ingeniería Térmica (I)*, Primera. Cantabria: Servicio de Publicaciones de la Escuela T. Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, 1992.
- [71] Fimarca, “Cartón (tipos y características),” in *Catálogo de productos (Cartón)*, Costa Rica, 2015, p. 18.
- [72] Kaefer, “Lana de vidrio,” in *Aislantes Térmicos y Absorbentes Acústicos Incombustibles*, Chile: Kaefer Distribución, p. 4.
- [73] I. Thermal Ceramics, “Fibra cerámica (Información técnica),” in *Diamore (Manuales)*, S&P Global Market Intelligence, Ed. Argentina: Diamore, 2016, pp. 2–3.
- [74] Goodfellow, “Propiedades y características del poliestireno,” in *Goodfellow (Polystyren)*,

Goodfellow, Ed. España, 2017, p. 23.

- [75] Aceroscenter, “Láminas,” in *Cátalogo de materiales*, Quito: Aceroscenter, p. 9.
- [76] Rolco, *Destilador eléctrico DEA-4 Junior*. Argentina: Rolco S.R.L.
- [77] EPMAPS, “Consumo doméstico, oficial y municipal,” in *Pliego Tarifario*, Quito: EPMAPS, 2016.
- [78] Plastiflan, “Envases plásticos,” *Envases plásticos con tamaños y formas a su elección*. [Online]. Available: <http://www.plastiflan.com.ec/plasticos/envases-plasticos/>. [Accessed: 05-Jun-2017].
- [79] W. G. Sullivan, E. M. Wicks, and J. T. Luxhoj, *Ingeniería económica de DeGarmo*, Duodécima. México D.F: Pearson Educación, 2004.
- [80] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), “Índice de precios al consumidor (IPC),” *Ecuador en cifras*, vol. V, p. 27, 2017.
- [81] A. J. Tarquin, L. T. Blank, and M. C. H. Roa, *Ingeniería económica*, Sexta. México: McGraw-Hill, 2006.
- [82] F. Jiménez Boulanger, C. L. Espinoza Gutiérrez, and L. Fonseca Retana, *Ingeniería Económica*, Primera. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2007.
- [83] S. A. Ross, R. Westerfield, and B. D. Jordan, *Essentials of corporate finance*, Octava. New York: McGraw-Hill Irwin, 2014.
- [84] A. Gomera Matínez, A. Toro Jordano, J. E. Aguilar Moreno, C. Guijarro Jiménez, M. Antúnez López, and M. Vaquero Abellán, *La Huella de Carbono de la Universidad de Córdoba*, Cuarta. Córdoba: Servicio de Protección Ambiental (SEPA), 2015.
- [85] Material general de laboratorio POBEL S.A., “Water distiller 710,” in *Instructions Manual 710*, Primera., Madrid: POBEL, 2013, p. 13.

NOTA:

Al ser necesario revisar anexos en el archivo digital

Anexo A: Tablas para el cálculo de los ángulos de incidencia del sol

Tabla A:1 ángulo de incidencia (δ)[°]

Día	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	-23,011637	-17,516495	-8,293705	4,016824	14,900887	22,039625	23,120484	17,913188	7,724629	-4,215526	-15,363417	-22,107749
2	-22,930544	-17,245529	-7,914912	4,413916	15,210363	22,174235	23,049628	17,650037	7,342360	-4,611979	-15,666098	-22,239079
3	-22,842656	-16,969453	-7,533774	4,809701	15,515332	22,302275	22,971941	17,381656	6,957916	-5,007065	-15,964136	-22,363819
4	-22,747999	-16,688348	-7,150403	5,204059	15,815703	22,423707	22,887447	17,108125	6,571409	-5,400668	-16,257445	-22,481933
5	-22,646602	-16,402298	-6,764913	5,596876	16,111387	22,538493	22,796172	16,829524	6,182956	-5,792670	-16,545936	-22,593384
6	-22,538493	-16,111387	-6,377419	5,988035	16,402298	22,646602	22,698141	16,545936	5,792670	-6,182956	-16,829524	-22,698141
7	-22,423707	-15,815703	-5,988035	6,377419	16,688348	22,747999	22,593384	16,257445	5,400668	-6,571409	-17,108125	-22,796172
8	-22,302275	-15,515332	-5,596876	6,764913	16,969453	22,842656	22,481933	15,964136	5,007065	-6,957916	-17,381656	-22,887447
9	-22,174235	-15,210363	-5,204059	7,150403	17,245529	22,930544	22,363819	15,666098	4,611979	-7,342360	-17,650037	-22,971941
10	-22,039625	-14,900887	-4,809701	7,533774	17,516495	23,011637	22,239079	15,363417	4,215526	-7,724629	-17,913188	-23,049628
11	-21,898483	-14,586996	-4,413916	7,914912	17,782271	23,085911	22,107749	15,056183	3,817824	-8,104609	-18,171031	-23,120484
12	-21,750852	-14,268783	-4,016824	8,293705	18,042778	23,153344	21,969868	14,744488	3,418991	-8,482187	-18,423489	-23,184489
13	-21,596777	-13,946341	-3,618542	8,670041	18,297938	23,213917	21,825476	14,428424	3,019145	-8,857252	-18,670488	-23,241625
14	-21,436301	-13,619766	-3,219187	9,043807	18,547676	23,267611	21,674617	14,108084	2,618404	-9,229692	-18,911955	-23,291873
15	-21,269474	-13,289156	-2,818879	9,414893	18,791918	23,314410	21,517336	13,783564	2,216887	-9,599397	-19,147817	-23,335220
16	-21,096344	-12,954608	-2,417735	9,783190	19,030591	23,354300	21,353679	13,454960	1,814713	-9,966258	-19,378006	-23,371651
17	-20,916963	-12,616221	-2,015875	10,148588	19,263625	23,387271	21,183694	13,122368	1,412001	-10,330165	-19,602452	-23,401157
18	-20,731383	-12,274096	-1,613417	10,510978	19,490951	23,413311	21,007431	12,785888	1,008871	-10,691012	-19,821090	-23,423729
19	-20,539660	-11,928334	-1,210481	10,870254	19,712502	23,432413	20,824944	12,445620	0,605442	-11,048690	-20,033855	-23,439360
20	-20,341852	-11,579037	-0,807187	11,226309	19,928211	23,444571	20,636286	12,101663	0,201834	-11,403095	-20,240683	-23,448046

21	-20,138015	-11,226309	-0,403653	11,579037	20,138015	23,449783	20,441513	11,754121	-0,201834	-11,754121	-20,441513	-23,449783
22	-19,928211	-10,870254	0,000000	11,928334	20,341852	23,448046	20,240683	11,403095	-0,605442	-12,101663	-20,636286	-23,444571
23	-19,712502	-10,510978	0,403653	12,274096	20,539660	23,439360	20,033855	11,048690	-1,008871	-12,445620	-20,824944	-23,432413
24	-19,490951	-10,148588	0,807187	12,616221	20,731383	23,423729	19,821090	10,691012	-1,412001	-12,785888	-21,007431	-23,413311
25	-19,263625	-9,783190	1,210481	12,954608	20,916963	23,401157	19,602452	10,330165	-1,814713	-13,122368	-21,183694	-23,387271
26	-19,030591	-9,414893	1,613417	13,289156	21,096344	23,371651	19,378006	9,966258	-2,216887	-13,454960	-21,353679	-23,354300
27	-18,791918	-9,043807	2,015875	13,619766	21,269474	23,335220	19,147817	9,599397	-2,618404	-13,783564	-21,517336	-23,314410
28	-18,547676	-8,670041	2,417735	13,946341	21,436301	23,291873	18,911955	9,229692	-3,019145	-14,108084	-21,674617	-23,267611
29	-18,297938		2,818879	14,268783	21,596777	23,241625	18,670488	8,857252	-3,418991	-14,428424	-21,825476	-23,213917
30	-18,042778		3,219187	14,586996	21,750852	23,184489	18,423489	8,482187	-3,817824	-14,744488	-21,969868	-23,153344
31	-17,782271		3,618542		21,898483		18,171031	8,104609		-15,056183		-23,085911

Tablas A:2 Valores promedio de $\cos(\vartheta)$ en cada mes

	9 Am-se asume 10°											
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	Junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1	0,676201236	0,68104005	0,67509624	0,64005667	0,58447743	0,53644774	0,52843059	0,5652757	0,62362529	0,66687694	0,68122972	0,67742614
2	0,676318006	0,68111683	0,67447632	0,63842392	0,58257827	0,53545963	0,52896195	0,56701621	0,62544131	0,66782496	0,68126117	0,67725863
3	0,67644303	0,6811794	0,67382281	0,63676604	0,58069015	0,53451701	0,5295436	0,56877899	0,62723958	0,6687379	0,68127356	0,67709623
4	0,676575903	0,68122685	0,67313539	0,63508391	0,57881441	0,53362057	0,53017511	0,57056276	0,62901902	0,66961579	0,68126776	0,6769395
5	0,676716189	0,6812583	0,67241379	0,63337845	0,5769524	0,53277099	0,53085601	0,57236622	0,6307786	0,67045871	0,68124463	0,67678897
6	0,676863426	0,68127288	0,67165775	0,63165061	0,57510546	0,53196888	0,53158581	0,57418806	0,63251727	0,67126676	0,68120507	0,67664515
7	0,67701712	0,68126969	0,67086708	0,62990136	0,57327492	0,53121483	0,53236396	0,57602697	0,63423404	0,67204009	0,68114995	0,67650851
8	0,677176754	0,68124788	0,67004162	0,62813172	0,57146211	0,53050942	0,53318988	0,57788161	0,63592795	0,67277888	0,68108016	0,67637951
9	0,677341781	0,68120658	0,66918122	0,62634273	0,56966833	0,52985315	0,53406297	0,57975065	0,63759807	0,67348336	0,68099661	0,67625856
10	0,677511629	0,68114494	0,66828581	0,62453545	0,5678949	0,52924651	0,53498259	0,58163275	0,63924349			

										0,67415379	0,68090017	0,67614607
11	0,677685701	0,68106212	0,66735533	0,62271098	0,56614309	0,52868996	0,53594804	0,58352656	0,64086335	0,67479046	0,68079175	0,67604237
12	0,677863376	0,68095729	0,66638978	0,62087043	0,5644142	0,52818389	0,53695862	0,58543072	0,6424568	0,67539371	0,68067223	0,67594782
13	0,678044009	0,68082965	0,66538918	0,61901496	0,56270948	0,52772869	0,53801359	0,58734387	0,64402305	0,67596391	0,68054251	0,6758627
14	0,678226931	0,68067839	0,6643536	0,61714571	0,56103017	0,52732469	0,53911215	0,58926468	0,64556134	0,67650146	0,68040346	0,67578728
15	0,678411453	0,68050274	0,66328316	0,61526389	0,55937752	0,52697219	0,54025351	0,59119176	0,64707093	0,67700679	0,68025598	0,67572181
16	0,678596865	0,68030193	0,662178	0,61337069	0,55775272	0,52667144	0,54143682	0,59312378	0,64855114	0,67748036	0,68010093	0,67566648
17	0,678782436	0,68007522	0,66103833	0,61146736	0,55615697	0,52642268	0,5426612	0,59505937	0,65000131	0,67792269	0,67993918	0,67562147
18	0,678967417	0,6798219	0,65986437	0,60955512	0,55459145	0,52622609	0,54392575	0,59699718	0,65142082	0,67833429	0,67977158	0,67558692
19	0,67915104	0,67954125	0,6586564	0,60763525	0,5530573	0,5260818	0,54522953	0,59893588	0,6528091	0,67871572	0,67959898	0,67556293
20	0,679332523	0,6792326	0,65741474	0,60570902	0,55155565	0,52598993	0,54657159	0,60087412	0,65416562	0,67906758	0,67942221	0,67554958
21	0,679511064	0,67889531	0,65613974	0,60377772	0,55008761	0,52595055	0,54795093	0,60281057	0,65548986	0,67939047	0,6792421	0,6755469
22	0,679685851	0,67852874	0,6548318	0,60184265	0,54865426	0,52596368	0,54936653	0,60474392	0,65678138	0,67968503	0,67905945	0,67555492
23	0,679856055	0,67813229	0,65349136	0,59990514	0,54725666	0,52602931	0,55081736	0,60667285	0,65803976	0,67995193	0,67887505	0,6755736
24	0,680020837	0,6777054	0,6521189	0,59796651	0,54589584	0,5261474	0,55230234	0,60859606	0,65926462	0,68019186	0,67868968	0,67560288
25	0,680179346	0,67724751	0,65071493	0,59602808	0,54457279	0,52631785	0,55382038	0,61051227	0,66045562	0,68040553	0,67850409	0,67564268
26	0,680330721	0,67675812	0,64928002	0,59409121	0,54328851	0,52654055	0,55537036	0,61242022	0,66161247	0,68059366	0,67831904	0,67569287
27	0,680474094	0,67623674	0,64781475	0,59215724	0,54204393	0,52681533	0,55695114	0,61431864	0,66273491	0,68075702	0,67813523	0,67575329
28	0,680608587	0,67568292	0,64631977	0,59022752	0,54083998	0,52714198	0,55856156	0,6162063	0,66382273	0,68089637	0,67795336	0,67582376
29	0,680733318		0,64479574	0,58830341	0,53967754	0,52752027	0,56020044	0,61808198	0,66487576	0,68101251	0,67777413	0,67590406
30	0,680847399		0,64324337	0,58638626	0,53855747	0,52794991	0,56186657	0,61994449	0,66589386	0,68110623	0,67759818	0,67599393
31	0,680949941		0,64166342		0,53748061		0,56355874	0,62179264		0,68117835		0,6760931

promedio 0,678594324 0,6797912 0,6608166 0,61392333 0,55890523 0,52874256 0,54306547 0,59326864 0,6467173 0,67624462 0,6799086 0,67606383

ángulo Θ 47,26610404 47,1726714 48,6378185 52,1262706 56,0198792 58,0794658 57,1074364 53,6106946 49,7054447 47,4491235 47,1634992 47,463183

11 Am-se asume 20°												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	Junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1	0,67990856	0,68272927	0,67337297	0,63386307	0,57456237	0,52427767	0,51593472	0,55438828	0,61613197	0,66365371	0,68212295	0,68080335
2	0,67999575	0,68270598	0,67261324	0,63208979	0,57256201	0,52324874	0,5164873	0,55621257	0,61808062	0,66474695	0,6822664	0,68068386
3	0,68008871	0,68266655	0,67181914	0,63029215	0,57057444	0,52226736	0,51709224	0,55806104	0,62001262	0,66580476	0,68238905	0,68056705
4	0,68018703	0,68261012	0,6709904	0,62847106	0,56860104	0,52133423	0,51774911	0,55993237	0,62192684	0,66682711	0,68249172	0,68045347
5	0,6802903	0,68253583	0,67012679	0,6266275	0,56664316	0,52045	0,51845744	0,56182527	0,62382218	0,66781403	0,68257526	0,68034365
6	0,68039806	0,68244283	0,66922811	0,62476245	0,56470216	0,51961531	0,51921672	0,56373842	0,62569759	0,66876558	0,68264052	0,68023808
7	0,68050983	0,68233027	0,66829422	0,62287694	0,5627794	0,51883074	0,52002642	0,56567046	0,62755203	0,66968184	0,68268834	0,68013722
8	0,68062509	0,68219733	0,667325	0,62097202	0,56087621	0,51809687	0,52088596	0,56762007	0,62938447	0,67056297	0,68271959	0,68004153
9	0,68074331	0,68204316	0,66632036	0,61904877	0,55899393	0,51741421	0,52179472	0,56958588	0,63119396	0,67140912	0,68273513	0,67995141
10	0,68086393	0,68186697	0,66528028	0,61710831	0,55713386	0,51678325	0,52275207	0,57156654	0,63297953	0,67222051	0,68273582	0,67986724
11	0,68098637	0,68166794	0,66420475	0,61515175	0,55529733	0,51620444	0,52375731	0,57356068	0,63474029	0,67299739	0,68272252	0,67978938
12	0,68111002	0,68144528	0,66309382	0,61318027	0,5534856	0,51567818	0,52480973	0,57556692	0,63647534	0,67374003	0,68269611	0,67971816
13	0,68123424	0,68119823	0,66194756	0,61119503	0,55169997	0,51520486	0,52590859	0,57758388	0,63818383	0,67444877	0,68265744	0,67965387
14	0,68135838	0,68092602	0,6607661	0,60919725	0,54994169	0,51478481	0,5270531	0,5796102	0,63986497	0,67512395	0,68260737	0,67959676
15	0,68148177	0,68062791	0,65954961	0,60718815	0,54821199	0,51441833	0,52824244	0,58164449	0,64151797	0,67576596	0,68254676	0,67954708
16	0,68160372	0,68030319	0,65829828	0,60516897	0,54651211	0,51410567	0,52947577	0,58368537	0,64314209	0,67637521	0,68247646	0,67950503
17	0,6817235	0,67995114	0,65701236	0,60314097	0,54484324	0,51384707	0,53075221	0,58573145	0,64473663	0,67695217	0,6823973	0,67947077
18	0,68184039	0,67957109	0,65569213	0,60110543	0,54320656	0,51364271	0,53207086	0,58778138	0,64630093	0,67749731	0,68231013	0,67944444
19	0,68195363	0,67916238	0,65433793	0,59906365	0,54160324	0,51349273	0,53343077	0,58983377	0,64783435	0,67801114	0,68221575	0,67942614
20	0,68206247	0,67872439	0,65295012	0,59701693	0,54003441	0,51339723	0,53483097	0,59188727	0,64933632	0,67849421	0,68211499	0,67941595
21	0,68216612	0,67825649	0,65152911	0,59496661	0,53850119	0,51335629	0,53627048	0,59394051	0,65080629	0,67894709	0,68200865	0,67941391
22	0,68226379	0,67775811	0,65007534	0,592914	0,53700466	0,51336994	0,53774827	0,59599214	0,65224374	0,67937036	0,68189751	0,67942003
23	0,68235467	0,67722869	0,64858931	0,59086047	0,53554588	0,51343816	0,53926328	0,59804082	0,6536482	0,67976466	0,68178235	0,67943428
24	0,68243794	0,6766677	0,64707154	0,58880735	0,5341259	0,51356091	0,54081445	0,60008524	0,65501926	0,68013062	0,68166392	0,6794566

25	0,68251277	0,67607465	0,6455226	0,58675602	0,53274572	0,5137381	0,54240066	0,60212406	0,65635651	0,68046892	0,68154297	0,67948692
26	0,68257833	0,67544908	0,6439431	0,58470784	0,53140632	0,5139696	0,5440208	0,60415599	0,65765962	0,68078025	0,68142021	0,67952509
27	0,68263378	0,67479053	0,64233368	0,58266419	0,53010866	0,51425526	0,54567372	0,60617974	0,65892828	0,68106532	0,68129636	0,67957098
28	0,68267825	0,67409862	0,64069503	0,58062644	0,52885366	0,51459485	0,54735825	0,60819404	0,66016222	0,68132485	0,68117209	0,6796244
29	0,6827109		0,63902787	0,57859596	0,52764222	0,51498816	0,54907319	0,61019764	0,66136122	0,68155961	0,68104808	0,67968513
30	0,68273086		0,63733296	0,57657415	0,52647519	0,51543488	0,55081733	0,6121893	0,6625251	0,68177036	0,68092496	0,67975292
31	0,68273727		0,63561108		0,52535341		0,55258945	0,6141678		0,68195787		0,6798275

promedio 0,6815087 0,67992963 0,65693403 0,60583312 0,54774282 0,51626002 0,53118575 0,58389528 0,64125417 0,67509783 0,68216222 0,67980168

Ángulo
Θ 47,038349 47,1618554 48,9335388 52,7111839 56,7877014 58,9182863 57,9143936 54,2750153 50,1145968 47,5382526 46,9871612 47,1718521

12 Am-se asume 30°												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	Junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1	0,68340877	0,68421052	0,67144458	0,62747639	0,5644723	0,5119479	0,50328168	0,54333199	0,60845097	0,66022832	0,6828084	0,68397319
2	0,68346636	0,68408717	0,67054528	0,62556312	0,56237134	0,51087848	0,50385532	0,54523951	0,61053167	0,66146645	0,68306381	0,68390175
3	0,68352722	0,68394577	0,66961083	0,62362625	0,56028493	0,50985864	0,50448337	0,54717309	0,6125968	0,6626688	0,68329667	0,68383057
4	0,68359097	0,68378547	0,66864102	0,62166677	0,55821445	0,50888908	0,5051654	0,54913143	0,61464521	0,66383531	0,6835078	0,68376018
5	0,68365719	0,68360545	0,66763566	0,61968566	0,5561613	0,50797048	0,50590094	0,55111319	0,61667575	0,66496593	0,68369798	0,68369109
6	0,68372544	0,6834049	0,66659462	0,61768398	0,55412684	0,50710346	0,50668948	0,55311705	0,61868733	0,66606069	0,68386803	0,6836238
7	0,68379524	0,68318301	0,66551779	0,61566278	0,55211245	0,50628861	0,50753048	0,55514165	0,62067885	0,66711961	0,68401878	0,68355876
8	0,68386609	0,68293897	0,6644051	0,61362317	0,55011947	0,50552651	0,50842337	0,55718563	0,62264928	0,6681428	0,68415105	0,6834964
9	0,68393747	0,68267199	0,66325654	0,61156625	0,54814925	0,50481767	0,50936753	0,55924761	0,62459758	0,66913036	0,68426568	0,68343713
10	0,68400883	0,68238129	0,6620721	0,60949319	0,54620312	0,50416257	0,51036231	0,56132623	0,62652276	0,67008247	0,68436349	0,68338132

11	0,6840796	0,68206611	0,66085185	0,60740515	0,54428241	0,50356168	0,51140704	0,56342009	0,62842388	0,67099931	0,68444533	0,68332933
12	0,68414918	0,6817257	0,65959588	0,60530332	0,54238841	0,50301539	0,51250098	0,56552779	0,63029999	0,67188113	0,68451203	0,68328146
13	0,68421695	0,68135931	0,65830431	0,60318894	0,54052241	0,5025241	0,51364339	0,56764796	0,63215022	0,67272819	0,68456443	0,68323801
14	0,68428228	0,68096623	0,65697733	0,60106323	0,53868568	0,50208812	0,51483349	0,56977917	0,63397369	0,67354079	0,68460336	0,68319923
15	0,68434451	0,68054576	0,65561515	0,59892745	0,53687948	0,50170777	0,51607046	0,57192004	0,63576959	0,67431929	0,68462964	0,68316536
16	0,68440295	0,68009721	0,65421803	0,5967829	0,53510503	0,5013833	0,51735344	0,57406916	0,63753713	0,67506404	0,6846441	0,68313659
17	0,6844569	0,67961993	0,65278625	0,59463085	0,53336354	0,50111494	0,51868156	0,57622512	0,63927556	0,67577545	0,68464757	0,68311309
18	0,68450566	0,67911328	0,65132017	0,59247263	0,53165622	0,50090287	0,5200539	0,57838653	0,64098416	0,67645396	0,68464084	0,68309499
19	0,6845485	0,67857664	0,64982014	0,59030957	0,52998421	0,50074724	0,52146952	0,580552	0,64266227	0,67710003	0,68462472	0,68308239
20	0,68458466	0,67800942	0,64828661	0,58814299	0,52834868	0,50064814	0,52292745	0,58272012	0,64430924	0,67771417	0,6846	0,68307537
21	0,68461338	0,67741106	0,64672001	0,58597426	0,52675073	0,50060566	0,52442668	0,58488952	0,64592447	0,67829689	0,68456746	0,68307396
22	0,6846339	0,67678102	0,64512086	0,58380475	0,52519147	0,50061983	0,5259662	0,58705881	0,64750741	0,67884875	0,68452787	0,68307818
23	0,68464543	0,67611879	0,64348968	0,58163581	0,52367197	0,50069062	0,52754494	0,58922663	0,64905754	0,67937032	0,68448198	0,683088
24	0,68464716	0,67542388	0,64182707	0,57946885	0,52219326	0,50081799	0,52916182	0,59139162	0,65057437	0,67986221	0,68443053	0,68310336
25	0,6846383	0,67469585	0,64013363	0,57730523	0,52075636	0,50100186	0,53081573	0,59355243	0,65205748	0,68032504	0,68437424	0,68312417
26	0,68461803	0,67393428	0,63841003	0,57514637	0,51936226	0,50124209	0,53250554	0,59570773	0,65350645	0,68075946	0,68431382	0,68315033
27	0,68458553	0,67313878	0,63665695	0,57299365	0,51801191	0,50153853	0,53423009	0,59785619	0,65492094	0,68116615	0,68424997	0,68318167
28	0,68453997	0,67230898	0,63487514	0,57084849	0,51670625	0,50189097	0,53598821	0,59999652	0,65630063	0,6815458	0,68418333	0,68321802
29	0,68448052		0,63306535	0,56871227	0,51544617	0,50229917	0,53777869	0,60212742	0,65764524	0,68189911	0,68411458	0,68325916
30	0,68440636		0,6312284	0,56658641	0,51423253	0,50276285	0,53960031	0,60424762	0,65895453	0,68222681	0,68404433	0,68330486
31	0,68431663		0,62936512		0,51306618		0,54145183	0,60635588		0,68252965		0,68335483

promedio 0,68421548 0,67986096 0,65285134 0,59755836 0,53641357 0,50362022 0,51914423 0,57434406 0,6355957 0,6737454 0,68420806 0,68333247

Angulo
 Θ 46,8260594 47,1672213 49,2430728 53,3047728 57,560173 59,7601979 58,7251343 54,946291 50,5358196 47,6432014 46,8266426 46,895394

Tablas A:3 Radiación promedio para el ángulo β

β	Radiación Total para las 12												P. anual
	ene	feb	mar	abril	mayo	jun	jul	agos	sep	oct	nov	dic	
1	1005	1137	2032	2283	1639	1679	2152	1406	2610	2010	2491	810	1771
2	1008	1137	2025	2265	1619	1656	2124	1393	2596	2009	2499	814	1762
3	1012	1138	2017	2245	1599	1632	2095	1379	2581	2007	2505	817	1752
4	1015	1138	2008	2225	1578	1608	2066	1364	2566	2004	2511	821	1742
5	1017	1137	1999	2204	1557	1583	2036	1349	2549	2000	2516	824	1731
6	1020	1136	1989	2183	1536	1557	2006	1334	2532	1996	2520	826	1720
7	1022	1135	1978	2161	1513	1532	1975	1318	2515	1992	2523	829	1708
8	1024	1134	1967	2138	1491	1505	1943	1302	2496	1986	2526	831	1695
9	1025	1132	1956	2114	1468	1479	1910	1285	2477	1980	2528	833	1682
10	1026	1130	1943	2090	1444	1452	1878	1268	2457	1974	2529	835	1669
11	1027	1128	1931	2066	1421	1424	1844	1251	2436	1967	2529	836	1655
12	1028	1125	1917	2040	1396	1396	1810	1233	2414	1959	2528	837	1640
13	1028	1122	1903	2014	1371	1367	1775	1215	2392	1951	2527	838	1625
14	1028	1118	1888	1988	1346	1339	1740	1197	2369	1942	2525	839	1610
15	1028	1114	1873	1961	1321	1309	1705	1178	2345	1933	2522	840	1594
16	1027	1110	1857	1933	1295	1280	1668	1159	2321	1923	2519	840	1578
17	1026	1105	1841	1905	1268	1250	1632	1139	2296	1912	2514	840	1561
18	1025	1101	1824	1876	1242	1219	1594	1119	2270	1901	2509	839	1543
19	1023	1095	1807	1846	1215	1188	1557	1099	2243	1889	2504	839	1525
20	1021	1090	1789	1816	1187	1157	1519	1079	2216	1877	2497	838	1507
21	1019	1084	1770	1785	1159	1126	1480	1058	2188	1864	2490	837	1488
22	1016	1078	1751	1754	1131	1094	1441	1037	2160	1850	2481	836	1469

23	1013	1071	1732	1722	1102	1061	1401	1015	2130	1836	2473	834	1449
24	1010	1064	1711	1690	1073	1029	1361	993	2100	1821	2463	832	1429
25	1007	1057	1691	1657	1044	996	1321	971	2070	1806	2452	830	1409
26	1003	1050	1670	1624	1015	963	1280	949	2039	1790	2441	828	1388
27	999	1042	1648	1590	985	929	1239	926	2007	1774	2429	825	1366
28	994	1034	1626	1556	955	896	1198	903	1975	1757	2417	822	1344
29	990	1025	1603	1522	924	862	1156	880	1942	1740	2403	819	1322
30	985	1017	1580	1486	894	827	1114	856	1908	1722	2389	816	1299

β	Radiación Total para las 11												P. anual
	ene	feb	mar	abril	mayo	jun	jul	agos	sep	oct	nov	dic	
1	959	988	1528	1428	851	784	1058	820	1841	1671	2326	795	1254
2	964	996	1550	1462	881	818	1099	843	1874	1688	2339	798	1276
3	968	1004	1572	1496	911	851	1140	866	1906	1704	2351	801	1297
4	972	1012	1593	1529	941	884	1181	888	1937	1720	2363	804	1319
5	976	1019	1614	1562	970	917	1221	910	1968	1736	2374	806	1339
6	979	1026	1635	1594	999	949	1261	932	1998	1751	2384	808	1360
7	982	1033	1655	1626	1027	981	1301	954	2027	1765	2394	810	1380
8	985	1039	1674	1657	1056	1013	1340	975	2056	1779	2402	811	1399
9	988	1045	1693	1688	1083	1045	1379	996	2085	1793	2410	813	1418
10	990	1051	1711	1719	1111	1076	1417	1017	2112	1805	2418	814	1437
11	992	1057	1729	1749	1138	1107	1455	1037	2139	1818	2424	814	1455
12	993	1062	1746	1778	1165	1138	1492	1057	2166	1829	2430	815	1473
13	995	1067	1763	1807	1192	1168	1529	1077	2191	1840	2435	815	1490
14	996	1071	1779	1835	1218	1198	1566	1096	2216	1851	2439	815	1507
15	996	1075	1795	1863	1244	1228	1602	1116	2241	1861	2443	815	1523

16	997	1079	1810	1890	1270	1257	1637	1134	2264	1871	2446	815	1539
17	997	1083	1825	1916	1295	1286	1672	1153	2287	1879	2448	814	1555
18	997	1086	1839	1942	1319	1314	1707	1171	2310	1888	2449	813	1570
19	991	1097	1901	2063	1437	1450	1872	1256	2410	1921	2445	805	1637
20	971	1098	1963	2205	1583	1621	2078	1358	2521	1942	2407	783	1711
21	974	1099	1956	2187	1563	1598	2050	1345	2507	1941	2415	787	1702
22	978	1099	1948	2168	1543	1575	2022	1331	2493	1939	2422	790	1692
23	981	1100	1940	2148	1523	1551	1993	1317	2478	1936	2428	794	1682
24	984	1099	1931	2128	1502	1526	1964	1302	2462	1933	2433	797	1672
25	987	1099	1922	2107	1481	1501	1934	1287	2446	1930	2438	800	1661
26	989	1098	1912	2085	1459	1476	1903	1271	2428	1925	2442	802	1649
27	993	1095	1890	2040	1414	1424	1840	1239	2392	1915	2447	807	1625
28	994	1093	1878	2016	1391	1397	1807	1223	2372	1909	2449	809	1612
29	995	1091	1865	1992	1368	1370	1774	1206	2352	1903	2450	810	1598
30	996	1089	1853	1967	1344	1342	1741	1188	2331	1895	2450	812	1584

Radiación Total para las 10													
β	ene	feb	mar	abril	mayo	jun	jul	agos	sep	oct	nov	dic	P. anual
1	884	903	1375	1255	727	657	895	714	1645	1520	2140	735	1121
2	888	910	1395	1287	755	688	934	735	1674	1535	2150	737	1141
3	891	916	1414	1318	783	719	972	756	1703	1549	2160	739	1160
4	893	923	1433	1348	811	750	1010	777	1731	1563	2168	740	1179
5	896	929	1452	1379	838	781	1048	797	1759	1576	2176	742	1198
6	898	934	1470	1409	865	812	1085	818	1786	1589	2184	743	1216
7	900	940	1488	1438	892	842	1123	838	1813	1601	2191	744	1234
8	902	945	1505	1467	918	872	1159	857	1839	1613	2197	745	1252

9	904	950	1522	1495	944	902	1196	877	1865	1624	2202	745	1269
10	905	955	1538	1523	970	932	1232	896	1890	1635	2207	745	1286
11	906	959	1554	1551	996	961	1268	915	1914	1645	2211	745	1302
12	906	963	1569	1578	1021	990	1303	934	1938	1655	2214	745	1318
13	907	967	1584	1605	1046	1019	1338	952	1961	1664	2217	745	1334
14	907	970	1599	1631	1071	1047	1372	971	1984	1673	2219	744	1349
15	907	974	1613	1656	1096	1075	1407	988	2006	1681	2220	743	1364
16	906	976	1626	1682	1120	1103	1440	1006	2027	1689	2221	742	1378
17	905	979	1639	1706	1143	1130	1473	1023	2048	1696	2221	740	1392
18	904	981	1651	1730	1167	1157	1506	1040	2068	1703	2221	739	1406
19	903	983	1663	1754	1190	1184	1539	1057	2088	1709	2219	737	1419
20	890	989	1724	1884	1320	1336	1722	1149	2191	1735	2197	722	1488
21	887	989	1732	1903	1340	1360	1751	1164	2206	1737	2191	718	1498
22	883	988	1740	1923	1360	1384	1780	1177	2221	1739	2184	715	1508
23	879	988	1747	1941	1380	1407	1807	1191	2234	1741	2177	711	1517
24	871	985	1760	1976	1418	1452	1861	1217	2260	1742	2160	703	1534
25	875	987	1754	1959	1399	1430	1835	1204	2247	1742	2169	707	1526
26	893	989	1715	1863	1299	1312	1693	1135	2176	1732	2202	725	1478
27	895	988	1706	1843	1278	1287	1663	1120	2160	1728	2207	728	1467
28	898	987	1696	1821	1257	1262	1633	1104	2143	1724	2211	730	1456
29	900	986	1686	1799	1235	1236	1602	1089	2125	1720	2214	733	1444
30	902	985	1675	1777	1212	1210	1570	1073	2107	1714	2217	735	1431

β	Radiación Total para las 9												P. anual
	ene	feb	mar	abril	mayo	jun	jul	agos	sep	oct	nov	dic	
1	765	768	1132	981	530	454	635	545	1333	1281	1845	639	909
2	768	777	1164	1035	579	510	704	582	1381	1302	1854	640	941
3	769	781	1179	1061	604	538	738	600	1404	1312	1859	640	957
4	769	781	1179	1061	604	538	738	600	1404	1312	1859	640	957
5	769	785	1194	1088	628	566	772	618	1427	1321	1862	640	973
6	770	789	1209	1113	652	594	806	636	1450	1330	1865	639	988
7	770	792	1223	1139	676	621	839	653	1472	1339	1868	639	1003
8	770	796	1236	1164	700	648	872	670	1493	1348	1869	638	1017
9	770	799	1250	1188	723	675	905	688	1515	1355	1871	637	1031
10	770	801	1263	1213	747	702	938	705	1535	1363	1871	636	1045
11	769	804	1275	1237	770	729	970	721	1556	1370	1872	635	1059
12	768	806	1288	1260	792	755	1002	738	1575	1377	1871	634	1072
13	767	808	1299	1283	815	781	1034	754	1595	1383	1870	632	1085
14	766	810	1311	1306	837	807	1065	770	1614	1389	1869	630	1098
15	764	812	1322	1328	859	833	1096	786	1632	1394	1867	628	1110
16	762	813	1333	1350	881	858	1127	802	1650	1399	1864	626	1122
17	760	814	1343	1372	903	883	1157	817	1667	1404	1861	623	1134
18	758	815	1353	1393	924	908	1187	832	1684	1408	1857	621	1145
19	755	816	1362	1414	945	933	1217	847	1700	1412	1852	618	1156
20	753	816	1371	1434	966	957	1246	862	1716	1415	1847	615	1166
21	750	816	1380	1454	986	981	1275	876	1731	1418	1842	612	1177
22	746	816	1388	1473	1006	1005	1303	890	1746	1420	1836	608	1186
23	743	815	1395	1492	1026	1028	1331	904	1760	1422	1829	605	1196
24	739	815	1403	1511	1045	1051	1359	917	1774	1424	1822	601	1205

25	735	814	1410	1529	1064	1074	1386	930	1787	1425	1814	597	1214
26	731	813	1416	1547	1083	1096	1413	943	1800	1425	1806	593	1222
27	722	810	1428	1580	1120	1140	1466	968	1823	1425	1788	584	1238
28	713	805	1438	1612	1155	1183	1516	992	1845	1424	1767	575	1252
29	718	808	1433	1596	1138	1162	1491	981	1834	1425	1778	580	1245
30	727	811	1422	1564	1102	1118	1440	956	1812	1426	1797	589	1230

Anexo B: Tablas de comportamiento de datos del destilador tomados durante su funcionamiento

Tabla B:1 Datos obtenidos para el 16 de mayo de 2017

<i>Hora</i>	T_c °C	T_d °C	T_a °C	$T_{e,agua}$ °C	$Q_{e,agua}$ ml	$R_{e,agua}$ ml	<i>Orient</i>	<i>Observaciones</i>
9:40	27	70	X	28	X			Destilador sin agua
9:45	30	41	40	28	200		50°NE	Destilador con agua en todos los depósitos
9:50	34	60	54					
9:55	36	62	56					
10:00	32	65	63					
10:05	41	70	64					
10:10	39	72	65					Viento
10:15	33	70	64					Viento
10:20	36	76	70					
10:25	41	85	75					
10:30	42	90	83					
10:35	41	95	81	26	50			Ingreso de agua
10:45	39	84	75					Nublado

10:50	42	83	74						
10:55	41	87	79			100			
11:00	42	87	76				11°N		Recolección de destilado
11:05	40	87	70						Cambio de orientación
11:10	41	79	67			40			Recolección de destilado
11:15	42	98	80	28	50				Ingreso de agua
11:20	44	94	83						
11:25	40	86	77			20			Recolección de destilado
11:30	37	78	71						Nublado
11:35	40	73	70						
11:40	40	81	71			40			Recolección de destilado
11:45	38	73	67						Nublado
11:50	41	84	74	29	50				Ingreso de agua
11:55	43	89	79						
12:00	39	86	76			40			Recolección de destilado
12:05	39	73	69				20°N		Cambio de orientación
12:10	38	77	69						Viento
12:15	40	67	60	27					Ingreso agua
12:20	35	66	63						Nublado
12:25	36	62	61						Viento
12:30	34	61	59						Nublado
12:35	34	57	58			10			Recolección de destilado
12:40	37	60	58						Viento
12:45	38	70	64						
12:50	42	84	78	28	50				Ingreso de agua
12:55	39	71	68						Nublado
13:00	37	70	65						Nublado

13:05	40	76	70			330°NO	Cambio de orientación
13:10	41	78	72				
13:15	41	86	76				
13:20	44	90	82		50		Recolección de destilado
13:25	45	82	67	26			Ingreso de agua
13:30	48	87	80				
13:35	46	82	77				Nublado
13:40	44	74	73				Nublado y Viento
13:45	38	64	64				Nublado
13:50	37	57	60		350		Recolección de destilado total

Tabla B:2 Datos obtenidos para el 17 de mayo de 2017

<i>Hora</i>	T_c °C	T_d °C	T_a °C	$T_{e,agua}$ °C	$Q_{e,agua}$ ml	$R_{e,agua}$ ml	<i>Orient</i>	<i>Observaciones</i>
9:40	33	67	X	26	200		47°NE	Ingreso de agua
9:45	35	72	66					
9:50	38	73	60					
9:55	40	72	59					
10:00	44	83	67					
10:05	44	83	69					
10:10	45	90	76					
10:15	46	87	75	24	50			Ingreso de agua
10:20	46	85	73					Mucho viento
10:25	46	86	75					
10:30	45	95	81					
10:35	49	94	79					

10:45	48	94	77			100		Recolección de destilado
10:50	58	97	82					Exceso de viento
10:55	53	98	81					
11:00	50	95	79					
11:05	51	95	79					Nublado sin viento
11:10	52	100	84					Sin viento
11:15	52	94	82					Sin viento
11:20	55	99	83					Sin viento
11:25	54	106	86					Sin viento
11:30	55	106	86			100		Recolección de destilado
11:35	55	106	56				7°N	Cambió de orientación
11:40	48	90	X	26	220			Ingresó agua
11:45	48	98	81					
11:50	52	98	82					
11:55	54	102	83					
12:00	54	103	88					
12:05	57	100	86					
12:10	54	88	81					
12:15	48	96	80					Nublado
12:20	51	97	80			50		Recolección de destilado
12:25	57	105	85					Nublado
12:30	52	93	80					
12:35	50	93	78					Nublado
12:40	54	106	84					Nublado
12:45	57	106	85	28	50			Ingreso de agua

12:50	57	107	87				
12:55	49	89	78				Nublado
13:00	45	78	69		80		Recolección de destilado
13:05	36	73	63				Nublado
13:10	34	72	63				Nublado con viento
13:15	41	80	68				Nublado con viento
13:20	46	96	78			72°E	Cambio de orientación
13:25	49	102	82				
13:30	53	102	84		75		Recolección de destilado
13:45	37	82	69		405		

Tabla B:3 Datos obtenidos para el 18 de mayo de 2017

<i>Hora</i>	T_c °C	T_d °C	T_a °C	$T_{e,agua}$ °C	$Q_{e,agua}$ ml	$R_{e,agua}$ ml	<i>Orient</i>	<i>Observaciones</i>
8:50	20	30	X	16	200		48°N	Ingreso de agua
8:55	20	31	25					Totalmente nublado con viento
9:00	20	35	30					Leve llovizna
9:05	20	35	33					Leve llovizna
9:10	21	39	36					Nublado
9:15	22	40	36					Nublado
9:20	21	41	38					Llovizna
9:25	25	45	41					Levemente nublado
9:30	25	47	44					Levemente nublado

9:35	27	51	46				Levemente nublado
9:40	28	50	43				Levemente nublado
9:45	28	50	44				Levemente nublado
9:50	27	48	44				Leve llovizna
9:55	28	48	44				Levemente nublado
10:00	29	48	45				Levemente nublado
10:05	27	46	43				Viento
10:10	25	46	43		20		Recolección de destilado
10:15	23	44	42				Levemente nublado
10:20	25	47	43				Levemente nublado
10:25	25	49	44				Levemente nublado
10:30	27	50	46				Levemente nublado
10:35	28	49	48				Levemente nublado
10:40	28	47	45				Levemente nublado
10:45	28	46	44				Levemente nublado
10:50	27	48	45				Levemente nublado
10:55	27	50	46				Levemente nublado
11:00	29	54	48				Levemente nublado
11:05	30	56	53				Se empieza a despejar
11:10	32	56	53				Se empieza a despejar
11:15	31	57	54	22	50		Ingreso de agua
11:20	30	55	51				Se empieza a despejar
11:25	32	56	52				Se empieza a despejar
11:30	30	58	53			5°N	Cambio de orientación
11:35	32	57	51				Se empieza a despejar

11:40	30	58	51						Nublado
11:45	34	61	54			40			Recolección de destilado
11:50	35	62	56						Levemente nublado
11:55	39	73	66						Soleado
12:00	46	87	75						Soleado
12:05	47	96	78						Soleado
12:10	51	101	80						Soleado
12:15	51	93	79						Soleado
12:20	50	98	81						Soleado
12:25	52	98	82						Soleado
12:30	50	90	76						Soleado
12:35	49	90	73			60			Recolección de destilado
12:40	51	94	77						Soleado
12:45	51	93	78						Soleado
12:50	48	90	76						Soleado
12:55	46	86	72			100			Recolección de destilado
13:00	40	73	66	27	50				Ingreso de agua
13:05	42	74	67						Soleado
13:10	42	69	66						Soleado
13:15	36	60	60						Nublado con viento
13:20	36	59	57						Nublado con viento
13:25	40	70	65						Nublado con viento
13:30	35	57	60						Nublado con viento
13:35	37	64	59						Nublado con viento

13:40	42	74	68			Leve sol
13:45	42	77	67			Leve sol
13:50	37	72	64	50		Recolección de destilado
13:55	32	62	58		327°NO	Cambio de orientación
14:00	31	53	50			Nublado con viento
14:05	38	80	66			Nublado con viento
14:10	40	88	71			Fuerte sol
14:15	43	92	70			Fuerte sol
14:20	43	93	73			Fuerte sol
14:25	49	96	75			Fuerte sol
14:30	47	100	78	65		Recolección de destilado
14:35	49	85	67			Viento
14:40	50	87	71			Soleado
14:45	50	89	73			Soleado
14:50	51	93	75			Soleado
14:55	52	96	78			Soleado
15:00	51	97	80			Soleado
15:05	52	98	82			Soleado
15:10	49	98	78			Levemente soleado
15:15	46	97	76			Levemente soleado
15:20	46	98	80			Levemente soleado
15:25	47	97	81			Levemente soleado
15:30	47	80	79	110		Recolección de destilado
15:35	40	82	81	445		Recolección total de destilado

Tabla B:4 Datos obtenidos para el 19 de mayo de 2017

<i>Hora</i>	T_c °C	T_d °C	T_a °C	$T_{e,agua}$ °C	$Q_{e,agua}$ ml	$R_{e,agua}$ ml	<i>Orient</i>	<i>Observaciones</i>
7:30	26	56	X	15			77°E	Ingreso de agua
7:35	27	58	30					
7:40	31	63	38					
7:45	32	64	42					
7:50	33	67	46					
7:55	35	68	48					
8:00	36	68	52					
8:05	36	63	57					
8:10	33	77	67					Viento
8:15	37	80	71					
8:20	32	78	70					Viento
8:25	35	79	75					
8:30	39	79	80					
8:35	42	81	82					
8:40	38	78	81					Viento
8:45	37	84	62					Viento
8:50	41	85	72					Seminublado con viento
8:55	42	85	70					Seminublado con viento
9:00	43	88	77					
9:05	46	86	75					Seminublado con viento
9:10	47	92	78					
9:15	50	92	80					
9:20	51	96	81					

9:25	53	98	83	21	100		Ingreso de agua
9:30	44	91	65				Viento
9:35	48	94	74				
9:40	50	88	72				Seminublado
9:45	50	89	78				
9:50	51	93	80			210	Recolección de destilado
9:55	48	94	81				Viento
10:00	49	94	82				
10:05	50	95	83				
10:10	50	95	82				Viento
10:15	52	98	83				
10:20	54	100	84				
10:25	53	100	84				
10:30	44	95	74	30	100		Ingreso de agua
10:35	50	100	81			140	Recolección de destilado
10:40	51	101	83				
10:45	50	102	85				Viento
10:50	49	101	84				Viento
10:55	48	98	84				Viento
11:00	47	104	83			26°NE	Cambio de Orientación
11:05	55	106	83	28	50		Ingreso de agua
11:10	56	102	80				
11:15	42	93	77				Viento
11:20	43	92	74			75	Recolección de destilado
11:25	50	105	48				
11:30	51	106	85				

11:35	49	104	83				Viento fuerte
11:40	50	105	84				Viento fuerte
11:45	51	105	85	30	100		Viento, ingreso de agua
11:50	48	97	82			110	Recolección de destilado
11:55	58	100	88				Viento
12:00	50	98	81				Sin sol, viento
12:05	54	98	82				Seminublado
12:10	50	102	82				Viento
12:15	48	91	80			70	Recolección de destilado
12:20	43	72	70	28	50		Ingreso de agua
12:25	38	58	60				Nublado
12:30	39	61	61				Nublado
12:35	32	55	58				Nublado
12:40	31	48	50				Nublado con viento
12:45	27	43	44				Nublado con viento
12:50	25	41	41				Nublado con viento
12:55	24	35	39				Viento
13:00	24	36	36				Seminublado
13:05	24	36	36				Seminublado
13:10	24	36	35				Seminublado
13:15	25	37	37				Levemente soleado con viento
13:20	27	40	40			120	Recolección de destilado
13:25	26	40	41			725	Recolección total de destilado

Tabla B:5 Datos obtenidos para el 21 de mayo de 2017

<i>Hora</i>	T_c °C	T_d °C	T_a °C	$T_{e,agua}$ °C	$Q_{e,agua}$ ml	$R_{e,agua}$ ml	<i>Orient</i>	<i>Observaciones</i>
9:15	42	92	X	25	200		51°NE	Ingreso de Agua
9:20	45	83	74					Nublado
9:25	48	90	73					Seminublado
9:30	53	96	81					Semisoleado
9:35	50	102	86					Semisoleado
9:40	44	84	75					Soleado
9:45	44	67	65					Soleado
9:50	41	67	63					Soleado
9:55	35	63	58	24	100			Ingreso de Agua
10:00	36	68	60					Nublado con viento
10:05	41	75	65			110		Recolección de destilado
10:10	45	81	70					Semisoleado
10:15	46	95	77					Sol
10:20	51	87	74					Sol
10:25	51	87	77					Semisoleado
10:30	42	78	67	26	200			Nublado, ingreso de Agua
10:35	44	89	75					Nublado con viento
10:40	53	101	86					Semisoleado con viento
10:45	50	90	78					Sol
10:50	51	82	73					Sol
10:55	40	81	73					Sol
11:00	47	64	63			130		Recolección de destilado
11:05	48	95	85					Sol

11:10	47	87	75				Sol con viento
11:15	45	88	73				Sol con viento
11:20	41	83	72			70	Nublado con viento, recolección de destilado
11:25	46	75	60	27	50		Nublado con viento, ingreso de agua
11:30	48	87	73				Sol con viento
11:35	51	91	81				Sol con viento
11:40	43	77	71				Nublado con viento
11:45	42	70	63				Nublado
11:50	39	75	65				Nublado con viento
11:55	38	72	65	25	50		Nublado con viento, ingreso de agua
12:00	40	72	64				Nublado con viento
12:05	39	73	65			135	Nublado con viento, recolección de destilado
12:10	38	72	64			19°N	Cambio de Orientación
12:15	41	82	63				Sol, leve viento
12:20	47	95	74				Sol, leve viento
12:25	54	102	82				Sol, leve viento
12:30	53	106	85				Sol, leve viento
12:35	53	100	83				Sol, leve viento
12:40	50	77	68	29	50		Sol con viento, ingreso de agua
12:45	39	61	58				Nublado con viento
12:50	36	59	55				Sol con viento
12:55	35	52	55				Nublado con viento
13:00	30	49	51			150	Recolección de destilado
13:05	28	50	48	23	100		Ingreso de Agua
13:10	33	65	54				Nublado con viento
13:15	36	74	62				Nublado con viento, poco sol

13:20	46	83	72					Nublado con viento
13:25	47	80	73					Poco sol
13:30	40	74	62				344°N	Poco sol, cambio de orientación
13:35	38	73	60					Poco sol
13:40	42	89	62					Sol
13:45	45	87	64					Sol con viento
13:50	41	88	71					Sol con viento
13:55	44	81	67			140		Sol con viento, recolección de destilado
14:00	42	80	65	24	100			Ingreso de Agua
14:05	47	86	72					Sol con viento
14:10	40	73	63					Poco sol, viento
14:15	39	76	66					Poco sol, viento
14:20	37	70	60					Poco sol, viento
14:25	36	76	64	23	150			Ingreso de Agua
14:30	41	81	68					Poco sol, viento
14:35	45	86	69					Poco sol, viento
14:40	37	71	59					Nublado con viento
14:45	34	62	51	26	100			Poco sol, viento, ingreso de agua
14:50	35	66	53			130		Poco sol, viento, recolección agua destilada
14:55	34	70	61				329°NO	Poco sol, cambio de orientación
15:00	35	68	58					Sol con viento
15:05	42	85	66					Sol
15:10	37	62	54					Poco sol, viento
15:15	36	79	60					Poco sol, viento
15:20	31	58	49					Nublado con viento
15:25	30	47	42	26	50			Nublado con viento, ingreso de agua

15:30	28	56	41			75	Sol, recolección de destilado
15:35	27	47	43				Nublado con viento
15:40	28	55	46				Poco sol, viento
15:45	26	43	41				Poco sol, viento
15:50	28	57	45				Sol con viento
15:55	34	74	56				Sol con viento
16:00	41	81	60				Sol con viento
16:05	44	85	63				Sol con viento
16:10	44	81	60	22	100		Sol con viento, ingreso de agua
16:15	37	61	57				Poco sol con viento
16:20	33	55	51				Poco sol con viento
16:25	29	48	43				Poco sol con viento
16:30	26	46	40			55	Poco sol con viento, recolección agua destilada
16:35	29	64	45				Sol con viento
16:40	33	68	48				Sol con viento
16:45	32	61	49				Poco sol con viento
16:50	34	60	48				Sol con viento
16:55	29	61	44				Sol con viento
17:00	27	52	40				Poco sol con viento
17:05	26	46	36				Poco sol con viento
17:10	24	41	24			85	Recolección de destilado
17:15						1080	Total de recolección de destilado

Anexo C: Procesos de soldadura empleados en la construcción

Norma AWS D1.3			Norma AWS D1.6		
Artículo I (Junta utilizada)					
Tipo de junta	A tope	A tope	A tope	A tope	A tope
Abertura Raíz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Angulo de ranura	N/A	N/A	N/A	N/A	45°
Placa de respaldo	No	No	No	No	No
Preparar bisel	No	No	No	No	SI
Articulo II (Técnica de soldadura)					
Proceso de soldadura	Arco Eléctrico	Arco Eléctrico	GTAW	TIG	TIG
Tipo de soldadura	SMAW	SMAW	X	GTAW	GTAW
Manual	X	X	Un lado	X	X
Soldadura a	Un lado	Un lado	NO	Un lado	Un lado
Cordón de respaldo	NO	NO		NO	NO
Limpieza	Pulidora	Pulidora	Acido	Acido	Acido
	ASTM A-500	ASTM A-500	INOX 316	INOX 316	INOX 316
Especificación					
Espesor	2 mm	2 mm	1 mm	1 mm	3 mm
Ancho 1	20 mm	20 mm			Diámetro
Ancho 2	20 mm	20 mm			15,88 mm

Artículo IV (Posición de soldadura)

Posición de soldadura	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Progresión	Por todo	Por todo	Por todo	Por puntos	Por todo
Técnica	Un pase	Un pase	Un pase	N/A	Un pase

Artículo V (Material de aporte)

Diámetro	4 mm	4 mm	1,6 mm	1,6 mm	1,6 mm
Denominación AWS	E7018-H4R	E7018-H4R	ER316L	ER316L	ER316L
Casa comercial	AGA	AGA	N/A	N/A	N/A
Stick-out	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Artículo VI (Stick out)

Longitud	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Pre calentamiento	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Tiempo entre pases	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

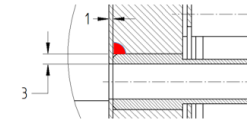
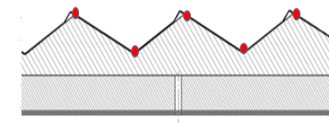
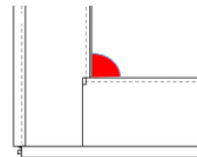
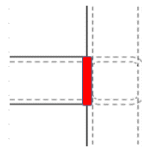
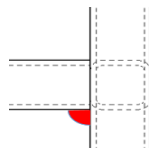
Artículo VII (Gas combustible-fundente)

**Tipo
Denominación
comercial**

Argón

Argón

Argón



Anexo D: Datos calculados y de laboratorio

Tabla D:1 Datos calculados y de laboratorio para el 16 de mayo de 2017

DATOS CALCULADOS											DATOS DE LABORATORIO		
P_a	P_c	h_{fg}	$h_{conv,a-c}$	$h_{conv,c-aire}$	\dot{m}_e	\dot{q}_e	$q_{conv,a-c}$	$q_{conv,c-aire}$	$q_{rad,a-c}$	$q_{rad,c-aire}$	G_{total} (W/m ²)	V (m/s)	T_{amb}
3741,71	3534,52	2434778	0,948	9,84	1,3156E-06	3,20	0,94849	43,00	5,84	55,97	545,54	2,52	16,63
7204,75	4188,52	2406110	2,110	10,86	4,3124E-05	103,76	21,10469	80,58	62,85	73,54	571,05	2,86	16,58
14561,16	5225,47	2372664	2,807	12,33	0,00018	427,09	56,13212	137,48	137,14	96,05	626,55	3,35	16,85
16022,38	5824,05	2367886	2,843	10,11	0,0001996	472,62	56,86247	136,28	139,75	110,05	650,88	2,61	16,52
22191,76	4681,75	2351163	3,359	11,43	0,00040772	958,62	104,11967	109,61	219,98	86,24	637,32	3,05	16,41
23223,15	7591,88	2348774	3,131	9,87	0,00033967	797,81	72,01845	186,05	170,78	143,76	658,69	2,53	16,15
24295,95	6835,06	2346385	3,259	10,68	0,00039537	927,68	84,74592	180,60	192,24	131,15	667,19	2,8	16,09
23223,15	4947,03	2348774	3,383	10,95	0,00042913	1007,94	104,88743	118,70	222,04	93,51	661,67	2,89	16,16
30330,69	5824,05	2334440	3,630	10,44	0,00062113	1449,99	123,41594	143,34	254,00	111,32	667,76	2,72	16,27
37623,75	7591,88	2322495	3,796	10,65	0,00080012	1858,28	129,06814	197,34	265,84	142,12	696,96	2,79	16,47
52447,18	7997,16	2303383	4,288	8,91	0,0013487	3106,58	175,79513	172,59	334,19	147,86	750,43	2,21	16,63
48335,74	7591,88	2308161	4,176	9,39	0,00120145	2773,14	167,02545	171,84	321,64	140,95	814,08	2,37	16,7
52447,18	7997,16	2303383	4,288	6,9	0,0013487	3106,58	175,79513	133,65	334,19	147,86	767,41	1,54	16,63
37623,75	6835,06	2322495	3,846	8,31	0,00083098	1929,95	138,44263	135,70	279,03	128,19	696,85	2,01	16,67
36054,70	7997,16	2324884	3,708	6,9	0,00072946	1695,90	118,66244	132,69	250,13	147,14	646,46	1,54	16,77
44505,30	7591,88	2312939	4,046	5,76	0,00105262	2434,66	153,76209	104,03	302,72	139,72	649,28	1,16	16,94
39251,50	7997,16	2320106	3,833	8,49	0,00084157	1952,53	130,31055	162,16	268,26	146,47	621,41	2,07	16,9
30330,69	7204,75	2334440	3,522	9,27	0,00056873	1327,67	105,66346	160,46	228,12	134,51	609,39	2,33	16,69
26571,33	7591,88	2341607	3,313	8,94	0,00043768	1024,86	86,13265	163,60	195,80	140,95	609,78	2,22	16,7

46386,42	7997,16	2310550	4,088	10,29	0,00110714	2558,10	155,34722	196,64	305,45	146,52	636,18	2,67	16,89
52447,18	8865,04	2303383	4,244	11,46	0,001309	3015,12	165,52846	245,13	320,62	161,25	693,53	3,06	16,61
40939,77	7204,75	2317717	3,944	7,86	0,00093567	2168,62	145,92081	139,44	290,75	136,71	692,18	1,86	16,26
31682,24	6145,35	2332051	3,661	8,7	0,00065346	1523,91	124,47522	129,46	256,34	118,33	734,4	2,14	16,12
30330,69	7204,75	2334440	3,522	7,59	0,00056873	1327,67	105,66346	135,18	228,12	137,06	732,03	1,77	16,19
31682,24	7204,75	2332051	3,581	9,18	0,00061273	1428,91	111,02282	161,57	236,84	135,99	749,51	2,3	16,4
26571,33	6482,15	2341607	3,406	9,57	0,00047627	1115,23	98,76749	148,91	215,49	123,00	748,79	2,43	16,44
36054,70	7591,88	2324884	3,735	9,51	0,00074531	1732,77	123,25067	174,60	256,82	141,26	784,71	2,41	16,64
44505,30	8421,30	2312939	3,999	7,32	0,00101703	2352,33	143,97847	122,17	289,28	135,28	934,85	1,68	20,31
39251,50	6835,06	2320106	3,906	6,75	0,00088956	2063,86	144,52070	86,81	288,13	110,11	1194,05	1,49	20,14
29029,40	6835,06	2336829	3,492	13,08	0,00054061	1263,32	104,76200	167,29	226,05	109,74	1011,21	3,6	20,21
29029,40	6482,15	2336829	3,520	6,81	0,00055364	1293,75	109,12692	78,32	232,55	101,83	770,65	1,51	20,5
19332,69	7204,75	2358330	2,924	7,95	0,00024509	578,00	58,47652	107,96	145,07	115,05	476,18	1,89	20,42
22191,76	5517,62	2351163	3,272	7,83	0,00037824	889,29	91,61617	71,57	201,40	86,50	433,12	1,85	19,86
20247,82	5824,05	2355941	3,130	9,03	0,00031232	735,81	78,24149	95,18	178,92	94,79	480,03	2,25	19,46
18453,77	5225,47	2360719	3,086	6,72	0,00028185	665,37	77,14553	63,10	175,60	86,94	1210,49	1,48	18,61
17609,86	5225,47	2363108	3,031	5,76	0,00025893	611,87	72,74632	51,67	167,77	84,75	894,9	1,16	19,03
17609,86	6145,35	2363108	2,922	5,97	0,00023104	545,97	61,35429	66,92	148,83	99,29	1253,34	1,23	19,79
23223,15	6482,15	2348774	3,234	10,65	0,00037573	882,50	84,08487	121,84	190,47	101,51	1082,18	2,79	20,56
42690,40	7997,16	2315328	3,959	7,68	0,00096698	2238,87	142,52746	120,35	286,70	128,56	857,56	1,8	20,33
27776,79	6835,06	2339218	3,434	7,23	0,0005011	1172,17	99,58393	89,22	217,48	107,34	1088,74	1,65	20,66
24295,95	6145,35	2346385	3,322	11,97	0,0004189	982,90	93,02290	120,78	205,17	93,34	1025,17	3,23	20,91
30330,69	7204,75	2334440	3,522	8,76	0,00056873	1327,67	105,66346	114,93	228,12	112,59	709,71	2,16	20,88
33085,65	7591,88	2329662	3,613	8,7	0,00064454	1501,56	112,01671	124,76	239,01	120,26	485,6	2,14	20,66
39251,50	7591,88	2320106	3,858	11,04	0,00085808	1990,84	135,02399	160,63	274,95	121,37	1127,4	2,92	20,45
50355,30	8865,04	2305772	4,176	6,75	0,00122474	2823,97	158,67576	119,07	310,96	141,69	1130,77	1,49	20,36
26571,33	9329,15	2341607	3,172	7,59	0,00038069	891,43	69,77978	140,79	168,66	147,95	791,83	1,77	20,45

46386,42	10851,71	2310550	3,938	9,24	0,00098708	2280,69	126,00141	212,52	263,96	176,21	542,07	2,32	19
40939,77	9814,42	2317717	3,790	6	0,00082956	1922,69	117,48115	126,66	250,04	162,99	391,4	1,24	18,89
34542,58	8865,04	2327273	3,589	6,36	0,00064542	1502,07	104,07507	118,04	227,61	146,56	395,35	1,36	19,44
23223,15	6482,15	2348774	3,234	4,71	0,00037573	882,50	84,08487	57,98	190,47	106,12	431,23	0,81	19,69
19332,69	6145,35	2358330	3,038	7,62	0,00027692	653,07	69,87810	80,47	164,57	95,85	348,6	1,78	20,44

Tabla D:2 Datos calculados y de laboratorio para el 17 de mayo de 2017

DATOS CALCULADOS										DATOS DE LABORATORIO			
P_a	P_c	h_{fg}	$h_{conv,a-c}$	$h_{conv,c-aire}$	\dot{m}_e	\dot{q}_e	$q_{conv,a-c}$	$q_{conv,c-aire}$	$q_{rad,a-c}$	$q_{rad,c-aire}$	$G_{total} (W/m^2)$	$V (m/s)$	T_{amb}
11983,70879	4947,02905	2382220	2,61368752	9,57	0,00012584	299,784417	44,4326879	105,5571	113,801305	94,4803309	757,5	2,43	15,97
25411,54055	5517,61675	2343996	3,43551873	7,8	0,00047527	1114,03895	106,501081	101,4	226,20368	106,512884	742,77	1,84	16
19332,68668	6482,14708	2358330	3,00158235	8,91	0,0002666	628,722832	66,0348117	140,2434	158,130657	123,917583	733,07	2,21	16,26
18453,77243	7204,74566	2360719	2,86134651	9,27	0,00022224	524,654024	54,3655836	171,1242	137,163544	140,363229	733,32	2,33	15,54
26571,33376	8865,0394	2341607	3,20915982	7,02	0,00039554	926,203954	73,8106759	156,0546	175,54365	165,524466	715,46	1,58	15,77
29029,39823	8865,0394	2336829	3,33614034	10,77	0,00046923	1096,51944	83,4035086	233,1705	192,597252	162,574831	729,29	2,83	16,35
39251,50183	9329,15173	2320106	3,75222681	9,15	0,0007888	1830,08974	116,319031	202,8555	247,802431	166,859499	732,13	2,29	16,83
37623,75097	9814,42136	2322495	3,65780919	8,82	0,00071391	1658,05591	106,076466	200,0376	231,752785	171,144299	739,82	2,18	17,32
34542,57765	9814,42136	2327273	3,52691736	8,79	0,00061084	1421,59087	95,2267688	199,3572	213,783066	171,144299	772,62	2,17	17,32
37623,75097	9814,42136	2322495	3,65780919	9,39	0,00071391	1658,05591	106,076466	218,6931	231,752785	174,277351	802,91	2,37	16,71
48335,74141	9329,15173	2308161	4,0839896	4,41	0,00112498	2596,63086	147,023626	93,2715	294,499241	161,602983	806,54	0,71	17,85
44505,3033	11405,4287	2312939	3,83931288	6,87	0,00089558	2071,41663	115,179386	170,8569	247,394346	187,749908	873,59	1,53	18,13
46386,42077	11983,7088	2310550	3,88034151	13,62	0,00094175	2175,95662	116,410245	354,3924	249,600296	195,591271	933,12	3,78	17,98
40939,76597	10851,7093	2317717	3,73121478	11,13	0,00078954	1829,91953	108,205229	271,0155	235,942013	183,240512	928,91	2,95	17,65
50355,29996	17609,8644	2305772	3,76392805	8,07	0,00087129	2008,99885	90,3342731	272,2818	208,518262	253,044625	920,73	1,93	18,26

48335,74141	13875,2075	2308161	3,86083861	7,62	0,00093956	2168,65893	108,103481	219,837	237,055348	216,293532	921,03	1,78	18,15
44505,3033	11983,7088	2312939	3,80928607	10,08	0,00087305	2019,31013	110,469296	260,064	240,181454	194,448707	963,38	2,6	18,2
44505,3033	12587,4654	2312939	3,77813368	13,44	0,00084983	1965,61469	105,787743	357,1008	232,901257	200,379963	984,25	3,72	18,43
54613,50167	13217,6415	2300994	4,11632422	9,12	0,00120709	2777,50015	131,722375	249,2496	273,455991	206,322449	971,23	2,28	18,67
50355,29996	13217,6415	2305772	3,96633531	8,43	0,0010413	2400,99662	118,990059	233,0052	254,051482	207,939488	976,31	2,05	18,36
52447,17742	15276,5335	2303383	3,94882283	7,2	0,0010387	2392,51868	110,567039	219,816	241,258571	229,352778	987,41	1,64	18,47
59178,24038	14561,1623	2296216	4,21465636	10,98	0,00133487	3065,14412	134,869003	315,8946	278,2887	217,9785	994,97	2,9	19,23
59178,24038	15276,5335	2296216	4,18561933	6,18	0,00130442	2995,22008	129,754199	183,2988	270,735097	224,79639	998,88	1,3	19,34
50355,29996	15276,5335	2305772	3,87120768	7,38	0,00095998	2213,4942	104,522607	218,5218	231,597197	224,533289	1023,63	1,7	19,39
46386,42077	10851,7093	2310550	3,93754408	10,02	0,00098708	2280,68774	126,001411	227,2536	263,959192	174,531988	1034,33	2,58	19,32
48335,74141	10851,7093	2308161	4,00740755	6,3	0,00106079	2448,48483	132,244449	141,498	273,458421	173,373573	1032,18	1,34	19,54
50355,29996	13217,6415	2305772	3,96633531	6,36	0,0010413	2400,99662	118,990059	165,4872	254,051482	199,432005	1021,61	1,36	19,98
52447,17742	14561,1623	2303383	3,98070671	9,9	0,00106724	2458,25377	115,440495	284,724	248,812175	217,92595	1027,9	2,54	19,24
64067,50171	14561,1623	2291438	4,37535947	6,96	0,00154083	3530,7109	148,762222	198,36	298,354668	216,557756	1045,75	1,56	19,5
59178,24038	16799,7824	2296216	4,12416219	14,91	0,00124067	2848,84284	119,600704	470,5596	255,419252	239,266818	1085,65	4,21	19,44
48335,74141	14561,1623	2308161	3,82810658	12,75	0,00091305	2107,47082	103,358878	366,8175	229,570727	217,9785	1093,34	3,49	19,23
46386,42077	10851,7093	2310550	3,93754408	13,65	0,00098708	2280,68774	126,001411	315,042	263,959192	176,631508	534,48	3,79	18,92
46386,42077	12587,4654	2310550	3,85016645	5,79	0,00091803	2121,14514	111,654827	150,8874	242,320098	197,715016	460,54	1,17	18,94
56856,44812	16799,7824	2298605	4,04248813	10,53	0,00114828	2639,43611	113,189668	341,172	245,511216	243,67129	459,76	2,75	18,6
46386,42077	13217,6415	2310550	3,81884918	11,31	0,00089358	2064,66502	106,927777	308,3106	234,972179	205,956597	1201,05	3,01	18,74
42690,39979	11983,7088	2315328	3,73865002	5,31	0,00080821	1871,26561	104,682201	128,7675	230,842546	186,325124	1143,02	1,01	19,75
54613,50167	14561,1623	2300994	4,05790088	5,94	0,00115133	2649,21329	121,737026	161,6868	258,555309	209,768641	1145,33	1,22	20,78
56856,44812	16799,7824	2298605	4,04248813	7,29	0,00114828	2639,43611	113,189668	220,158	245,511216	232,054855	1233,19	1,67	20,8
61581,15092	16799,7824	2293827	4,20667815	9,6	0,00133864	3070,60711	126,200344	288	265,410432	230,985789	718,1	2,44	21
42690,39979	11405,4287	2315328	3,76964879	14,64	0,00083026	1922,31366	109,319815	339,5016	238,055438	178,945433	594,04	4,12	19,81
29029,39823	9329,15173	2336829	3,30139999	13,05	0,00045366	1060,12582	79,2335998	250,9515	185,714668	151,557235	893,85	3,59	19,77
22191,75695	5824,04787	2351163	3,24123296	13,23	0,00036779	864,740397	87,5132898	137,4597	195,088882	94,0009401	1303,04	3,65	19,61

22191,75695	5225,46817	2351163	3,30180023	14,91	0,00038837	913,114528	95,7522067	120,3237	207,65514	80,0056267	465,26	4,21	19,93
27776,78869	7591,87894	2339218	3,37289379	5,37	0,0004744	1109,72937	91,0681323	77,7576	204,293362	121,001523	917,85	1,03	20,52
42690,39979	9814,42136	2315328	3,8562607	11,97	0,00089252	2066,487	123,400342	231,9786	259,294441	153,849387	977,01	3,23	20,62
50355,29996	11405,4287	2305772	4,05149311	9,3	0,00111556	2572,2237	133,699273	200,043	275,892491	169,9881	974,82	2,34	21,49
54613,50167	13875,2075	2300994	4,08764724	11,76	0,00117964	2714,33754	126,717065	311,64	266,039931	203,932674	1031,38	3,16	20,5
29029,39823	6145,35391	2336829	3,54751623	12,03	0,00056626	1323,25875	113,520519	123,7887	238,982946	94,4078634	1091,14	3,25	20,71

Tabla D:3 Datos calculados y de laboratorio para el 18 de mayo de 2017

DATOS CALCULADOS							DATOS DE LABORATORIO						
P_a	P_c	h_{fg}	$h_{conv,a-c}$	$h_{conv,c-aire}$	\dot{m}_e	\dot{q}_e	$q_{conv,a-c}$	$q_{conv,c-aire}$	$q_{rad,a-c}$	$q_{rad,c-aire}$	G_{total} (W/m ²)	V (m/s)	T_{amb}
3150,31	2346,51	2441945	1,597	8,61	8,6E-06	20,930	7,987	9,213	27,746	36,112	181,01	2,11	12,93
3959,56	2346,51	2432389	1,956	6,48	2,1E-05	51,437	17,607	8,554	50,971	37,341	197,73	1,4	12,68
5517,62	2346,51	2418055	2,347	6,84	5,0E-05	121,300	35,201	9,302	87,582	37,537	234,97	1,52	12,64
4947,03	2346,51	2422833	2,228	7,77	3,9E-05	94,451	28,967	10,256	75,138	37,341	258,68	1,83	12,68
5824,05	2490,90	2415666	2,355	5,64	5,3E-05	127,966	35,330	12,013	88,459	41,731	282,32	1,12	12,87
5824,05	2643,11	2415666	2,305	5,58	4,9E-05	119,531	32,275	15,959	82,966	45,779	300,85	1,1	13,14
6482,15	2490,90	2410888	2,467	6,48	6,7E-05	160,485	41,936	10,627	101,271	39,314	339,39	1,4	13,36
7591,88	3150,31	2403721	2,452	3,36	7,4E-05	177,510	39,230	18,144	98,651	59,970	350,01	0,36	13,6
8865,04	3150,31	2396554	2,618	3,39	1,0E-04	243,842	49,737	16,103	118,911	56,737	371,04	0,37	14,25
9814,42	3534,52	2391776	2,643	3,72	1,1E-04	270,564	50,221	24,031	121,245	66,544	390,02	0,48	14,54
8421,30	3741,71	2398943	2,426	3,42	7,7E-05	185,073	36,395	23,769	94,762	69,698	323,19	0,38	15,05
8865,04	3741,71	2396554	2,486	4,17	8,7E-05	207,622	39,779	30,233	101,579	71,206	295,67	0,63	14,75
8865,04	3534,52	2396554	2,532	4,35	9,2E-05	219,999	43,044	29,319	107,415	67,944	275,4	0,69	14,26
8865,04	3741,71	2396554	2,486	5,64	8,7E-05	207,622	39,779	44,782	101,579	74,655	282,1	1,12	14,06

9329,15	3959,56	2394165	2,499	3,99	9,1E-05	218,681	39,976	36,189	102,568	81,073	261,98	0,57	13,93
8421,30	3534,52	2398943	2,474	6,51	8,2E-05	197,090	39,589	45,896	100,597	69,489	248,62	1,41	13,95
8421,30	3150,31	2398943	2,564	5,22	9,2E-05	220,274	46,148	25,839	112,093	57,734	240,72	0,98	14,05
7997,16	2803,49	2401332	2,594	5,1	9,1E-05	219,610	49,288	15,555	116,607	47,199	286,08	0,94	13,95
8421,30	3150,31	2398943	2,564	5,58	9,2E-05	220,274	46,148	27,342	112,093	57,485	345,49	1,1	14,1
8865,04	3150,31	2396554	2,618	5,43	1,0E-04	243,842	49,737	25,141	118,911	56,138	340,92	1,05	14,37
9814,42	3534,52	2391776	2,643	4,05	1,1E-04	270,564	50,221	25,070	121,245	65,191	309,67	0,59	14,81
10851,71	3741,71	2386998	2,711	4,08	1,3E-04	314,193	54,221	28,030	129,503	69,296	271,35	0,6	15,13
9329,15	3741,71	2394165	2,544	6,57	9,7E-05	231,732	43,255	47,435	108,462	71,055	279,01	1,43	14,78
8865,04	3741,71	2396554	2,486	8,31	8,7E-05	207,622	39,779	57,090	101,579	69,296	326,19	2,01	15,13
9329,15	3534,52	2394165	2,588	5,82	1,0E-04	244,466	46,588	34,396	114,297	63,783	379,88	1,18	15,09
9814,42	3534,52	2391776	2,643	8,13	1,1E-04	270,564	50,221	51,056	121,245	65,643	448,36	1,95	14,72
10851,71	3959,56	2386998	2,671	7,08	1,3E-04	300,026	50,742	58,622	123,609	77,127	467,47	1,6	14,72
13875,21	4188,52	2375053	2,902	4,11	1,9E-04	458,225	66,749	34,442	154,060	78,421	412,6	0,61	15,62
13875,21	4681,75	2375053	2,828	4,89	1,8E-04	423,837	59,395	51,492	141,977	91,011	377,18	0,87	15,47
14561,16	4429,08	2372664	2,920	7,68	2,0E-04	482,185	67,151	71,578	155,533	84,003	362,27	1,8	15,68
12587,47	4188,52	2379831	2,795	8,91	1,6E-04	382,682	58,701	81,616	139,296	82,353	366,9	2,21	14,84
13217,64	4681,75	2377442	2,772	11,43	1,6E-04	385,751	55,450	126,416	134,561	93,682	440,27	3,05	14,94
13875,21	4188,52	2375053	2,902	7,11	1,9E-04	458,225	66,749	66,194	154,060	83,106	556,16	1,61	14,69
12587,47	4681,75	2379831	2,716	12,18	1,5E-04	349,957	51,599	133,006	127,213	92,978	511,11	3,3	15,08
12587,47	4188,52	2379831	2,795	9,27	1,6E-04	382,682	58,701	77,683	139,296	78,421	715,86	2,33	15,62
14561,16	5225,47	2372664	2,807	8,01	1,8E-04	427,086	56,132	95,399	137,138	99,933	854,79	1,91	16,09
16022,38	5517,62	2367886	2,882	4,89	2,1E-04	493,550	60,531	60,685	146,062	103,505	617,28	0,87	16,59
25411,54	6835,06	2343996	3,318	5,07	4,3E-04	1004,588	89,578	83,807	200,578	129,211	712,88	0,93	16,47
37623,75	9814,42	2322495	3,658	3,75	7,1E-04	1658,056	106,076	83,213	231,753	168,613	857,39	0,49	17,81
42690,40	10321,66	2315328	3,828	6,39	8,7E-04	2019,897	118,680	151,954	252,281	178,527	805,24	1,37	17,22
46386,42	12587,47	2310550	3,850	4,65	9,2E-04	2121,145	111,655	128,015	242,320	205,359	1120,54	0,79	17,47

44505,30	12587,47	2312939	3,778	5,64	8,5E-04	1965,615	105,788	158,315	232,901	208,137	797,66	1,12	16,93
48335,74	11983,71	2308161	3,952	3,69	1,0E-03	2341,660	122,509	94,685	259,100	193,720	1165,95	0,47	18,34
50355,30	13217,64	2305772	3,966	5,16	1,0E-03	2400,997	118,990	135,450	254,051	200,648	1141,23	0,96	19,75
39251,50	11983,71	2320106	3,598	7,56	6,9E-04	1599,291	93,554	180,684	212,403	184,473	893,74	1,76	20,1
34542,58	11405,43	2327273	3,425	5,19	5,6E-04	1291,682	82,200	122,069	192,544	180,687	1174,57	0,97	19,48
40939,77	12587,47	2317717	3,635	8,01	7,2E-04	1679,915	94,512	208,580	214,303	197,610	1250,86	1,91	18,96
42690,40	12587,47	2315328	3,706	5,64	7,9E-04	1818,681	100,075	145,117	223,562	195,983	709,2	1,12	19,27
39251,50	10851,71	2320106	3,663	7,77	7,3E-04	1695,767	102,570	172,028	226,762	171,684	909,26	1,83	19,86
33085,65	9814,42	2329662	3,462	5,7	5,6E-04	1313,069	90,002	116,451	204,914	159,416	1231,99	1,14	19,57
25411,54	7204,75	2343996	3,286	6,72	4,2E-04	975,101	85,428	94,954	194,015	117,963	737,55	1,48	19,87
26571,33	7997,16	2341607	3,280	4,77	4,2E-04	992,913	81,989	75,938	189,115	129,889	835,49	0,83	20,08
25411,54	7997,16	2343996	3,218	6,36	3,9E-04	913,482	77,235	99,979	180,700	128,828	823,72	1,36	20,28
19332,69	5824,05	2358330	3,073	5,13	2,9E-04	676,737	73,762	50,684	170,943	91,304	1010,2	0,95	20,12
16799,78	5824,05	2365497	2,902	5,91	2,2E-04	519,127	60,936	58,627	147,442	91,516	990,27	1,21	20,08
24295,95	7204,75	2346385	3,226	11,13	3,8E-04	898,826	80,659	160,383	185,674	119,442	991,81	2,95	19,59
19332,69	5517,62	2358330	3,107	7,26	3,0E-04	699,737	77,684	65,267	177,257	85,704	853,44	1,66	20,01
18453,77	6145,35	2360719	2,980	9,21	2,5E-04	597,912	65,565	94,863	156,663	94,461	976,77	2,31	20,7
27776,79	7997,16	2339218	3,341	9,42	4,6E-04	1077,083	86,859	137,532	197,604	122,845	942,57	2,38	21,4
26571,33	7997,16	2341607	3,280	7,5	4,2E-04	992,913	81,989	111,525	189,115	124,293	934,52	1,74	21,13
23223,15	6145,35	2348774	3,266	8,55	3,9E-04	909,124	88,179	90,630	196,907	96,059	911,4	2,09	20,4
17609,86	4681,75	2363108	3,098	15,66	2,8E-04	652,773	80,540	87,070	180,094	65,233	886,1	4,46	20,44
11983,71	4429,08	2382220	2,700	8,16	1,4E-04	332,499	51,303	32,232	126,004	56,033	836,02	1,96	21,05
25411,54	6482,15	2343996	3,349	10,41	4,4E-04	1033,211	93,761	117,113	207,077	100,498	830,36	2,71	20,75
31682,24	7204,75	2332051	3,581	10,17	6,1E-04	1428,911	111,023	135,871	236,839	113,874	834,32	2,63	20,64
30330,69	8421,30	2334440	3,432	5,7	5,2E-04	1225,525	92,655	89,376	208,055	129,887	794,25	1,14	21,32
34542,58	8421,30	2327273	3,618	11,25	6,6E-04	1540,523	108,544	181,350	234,431	132,244	821,39	2,99	20,88
37623,75	11405,43	2322495	3,563	12,03	6,6E-04	1522,472	92,625	267,547	210,514	173,899	823,56	3,25	20,76

42690,40	10321,66	2315328	3,828	9,69	8,7E-04	2019,897	118,680	192,540	252,281	157,991	804,27	2,47	21,13
26571,33	11405,43	2341607	3,005	7,41	3,2E-04	742,837	54,089	160,352	140,474	170,687	806,62	1,71	21,36
31682,24	11983,71	2332051	3,247	10,32	4,5E-04	1042,640	68,192	239,011	167,670	180,535	817,7	2,68	20,84
34542,58	11983,71	2327273	3,388	7,29	5,4E-04	1245,873	77,929	177,366	185,331	186,748	800,33	1,67	19,67
37623,75	12587,47	2322495	3,493	13,44	6,1E-04	1425,298	83,822	318,931	196,021	185,361	775,44	3,72	21,27
42690,40	13217,64	2315328	3,673	12,84	7,6E-04	1764,538	95,498	327,677	216,214	196,778	247,88	3,52	20,48
46386,42	12587,47	2310550	3,850	13,68	9,2E-04	2121,145	111,655	336,802	242,320	190,115	367,4	3,8	20,38
50355,30	13217,64	2305772	3,966	14,01	1,0E-03	2400,997	118,990	352,632	254,051	194,911	799,54	3,91	20,83
42690,40	11405,43	2315328	3,770	7,32	8,3E-04	1922,314	109,320	169,092	238,055	178,469	339,85	1,68	19,9
39251,50	9814,42	2320106	3,724	15,6	7,7E-04	1786,670	111,708	295,776	240,855	151,606	792,21	4,44	21,04
46386,42	9814,42	2310550	3,991	10,95	1,0E-03	2379,106	135,693	212,102	278,052	153,796	772,53	2,89	20,63
48335,74	10321,66	2308161	4,034	15,81	1,1E-03	2499,443	137,148	329,480	280,538	163,163	301,2	4,51	20,16
44505,30	10321,66	2312939	3,896	17,1	9,4E-04	2170,973	124,680	355,338	261,620	162,844	780,19	4,94	20,22
48335,74	7204,75	2308161	4,197	18,03	1,2E-03	2813,776	172,075	258,009	328,268	118,915	251,24	5,25	19,69

Tabla D:4 Datos calculados y de laboratorio para el 19 de mayo de 2017

DATOS CALCULADOS										DATOS DE LABORATORIO			
P_a	P_c	h_{fg}	$h_{conv,a-c}$	$h_{conv,c-aire}$	\dot{m}_e	\dot{q}_e	$q_{conv,a-c}$	$q_{conv,c-aire}$	$q_{rad,a-c}$	$q_{rad,c-aire}$	G_{total} (W/m ²)	V (m/s)	T_{amb}
3150,30652	3337,5311	2441945	-0,94197821	3,09	1,1772E-06	2,87469216	0,94197821	26,0796	-5,71943958	75,5745312	332,14	0,27	11,56
4188,51825	3534,52194	2430000	1,37322485	4,92	6,0242E-06	14,6387689	4,11967455	43,7388	17,6812598	78,5550858	366,87	0,88	12,11
6482,14708	4429,08089	2410888	1,86783254	5,49	2,5927E-05	62,5069765	13,0748278	68,0211	43,773262	99,3080428	373,73	1,07	12,61
7997,1561	4681,74522	2401332	2,13071022	9,27	4,7951E-05	115,146132	21,3071022	124,9596	64,079232	105,694165	400,17	2,33	12,52
9814,42136	4947,02905	2391776	2,35857706	6,09	7,8237E-05	187,125954	30,6615018	86,4171	85,3494096	110,274291	392,44	1,27	12,81
10851,7093	5517,61675	2386998	2,38487286	10,02	8,6868E-05	207,354459	31,0033472	161,4222	86,9981514	122,065851	417,47	2,58	12,89

13217,6415	5824,04787	2377442	2,59847838	8,73	0,00013172	313,157119	41,5756541	148,4973	109,671436	127,755777	423,93	2,15	12,99
16799,7824	5824,04787	2365497	2,90170184	4,89	0,00021946	519,127438	60,9357387	81,0762	147,441565	125,633137	406,89	0,87	13,42
26571,3338	4947,02905	2341607	3,54225151	9,33	0,00053321	1248,55923	120,436551	124,6488	247,062655	106,176238	408,85	2,35	13,64
31682,2425	6145,35391	2332051	3,66103576	12,27	0,00065346	1523,91083	124,475216	215,7066	256,338373	131,875643	418,57	3,33	13,42
30330,6931	4681,74522	2334440	3,72592418	7,38	0,00066728	1557,72637	141,585119	90,1098	278,887342	99,4282322	444,12	1,7	13,79
37623,751	5517,61675	2322495	3,93660716	8,91	0,00088704	2060,14458	157,464287	133,65	304,657937	116,572666	480,63	2,21	14
46386,4208	6835,0599	2310550	4,15376022	6,57	0,00115898	2677,87597	170,304169	121,2165	325,33125	138,919313	512,46	1,43	14,55
50355,3	7997,1561	2305772	4,22023145	5,25	0,0012637	2913,80708	168,809258	111,51	324,532992	157,330284	538,32	0,99	14,76
48335,7414	6482,14708	2308161	4,23784666	5,79	0,00125256	2891,11657	182,227406	99,2985	341,330197	131,050767	577,6	1,17	14,85
21200,4168	6145,35391	2353552	3,15268263	5,07	0,00032872	773,660514	78,8170658	78,7371	180,592776	121,623857	616,64	0,93	15,47
33085,6546	7591,87894	2329662	3,6134424	5,73	0,00064454	1501,56073	112,016715	108,6981	239,005101	144,366085	635,68	1,15	16,03
30330,6931	7997,1561	2334440	3,46285199	5,91	0,00054	1260,60505	96,9598558	119,973	214,80811	152,590895	653,27	1,21	15,7
40939,766	8421,29577	2317717	3,87037943	5,1	0,00088514	2051,49873	131,592901	108,987	270,683173	159,55807	656,03	0,94	15,63
37623,751	9814,42136	2322495	3,65780919	9,09	0,00071391	1658,05591	106,076466	212,8878	231,752785	174,942498	703,6	2,27	16,58
42690,3998	10321,6613	2315328	3,82838759	6,03	0,0008724	2019,89725	118,680015	146,5893	252,280971	181,247095	721,66	1,25	16,69
46386,4208	11983,7088	2310550	3,88034151	7,2	0,00094175	2175,95662	116,410245	192,672	249,600296	199,415466	758,32	1,64	17,24
48335,7414	12587,4654	2308161	3,92266701	6,33	0,00099028	2285,7259	117,68001	176,0373	251,819328	206,801331	811,32	1,35	17,19
52447,1774	13875,2075	2303383	4,01139564	3,99	0,00109494	2522,05714	120,341869	120,5379	256,296796	223,311655	488,96	0,57	16,79
24295,9534	8865,0394	2346385	3,08066028	3,99	0,00033024	774,859684	64,693866	86,184	158,788354	162,31972	453,71	0,57	16,4
36054,6999	10851,7093	2324884	3,52785961	5,19	0,00062338	1449,27559	91,72435	135,2514	208,636087	192,003424	456,42	0,97	15,94
33085,6546	11983,7088	2329662	3,31789113	4,74	0,00048987	1141,22753	72,9936049	131,4876	176,462382	204,435117	384,02	0,82	16,26
42690,3998	11983,7088	2315328	3,73865002	4,8	0,00080821	1871,26561	104,682201	131,856	230,842546	203,057232	455,88	0,84	16,53
46386,4208	12587,4654	2310550	3,85016645	4,23	0,00091803	2121,14514	111,654827	118,9053	242,320098	208,342573	664,7	0,65	16,89
48335,7414	10851,7093	2308161	4,00740755	4,26	0,00106079	2448,48483	132,244449	105,3072	273,458421	185,149746	764,21	0,66	17,28
50355,3	11405,4287	2305772	4,05149311	5,25	0,00111556	2572,2237	133,699273	135,87	275,892491	192,970232	765,67	0,99	17,12
52447,1774	11983,7088	2303383	4,0970043	4,08	0,00117314	2702,19778	135,201142	106,3248	278,340973	195,798732	767,39	0,6	17,94
50355,3	11983,7088	2305772	4,02410258	6,57	0,00109157	2516,90287	128,771283	169,1775	268,679598	194,188672	773,25	1,43	18,25

52447,1774	13217,6415	2303383	4,04096374	4,29	0,00112181	2583,95966	125,269876	119,9055	263,712856	209,551373	760,32	0,67	18,05
54613,5017	14561,1623	2300994	4,05790088	6,75	0,00115133	2649,21329	121,737026	204,3225	258,555309	225,800112	799,02	1,49	17,73
54613,5017	13875,2075	2300994	4,08764724	5,25	0,00117964	2714,33754	126,717065	153,3525	266,039931	218,160871	812,41	0,99	17,79
36054,6999	8865,0394	2324884	3,65220937	6,84	0,00069622	1618,62803	109,566281	131,0544	236,559491	149,708711	851,23	1,52	18,84
48335,7414	11983,7088	2308161	3,95191442	5,22	0,00101451	2341,65999	122,509347	126,8982	259,099525	186,641997	865,83	0,98	19,69
52447,1774	12587,4654	2303383	4,06947908	7,05	0,00114787	2643,99471	130,223331	178,929	271,060776	194,139961	901,42	1,59	19,62
56856,4481	11983,7088	2298605	4,2453488	9,6	0,00135089	3105,15701	148,587208	236,256	297,909462	188,223438	950,14	2,44	19,39
54613,5017	11405,4287	2300994	4,19654996	5,61	0,00128449	2955,59485	146,879249	132,5643	295,297	181,26607	928,77	1,11	19,37
54613,5017	10851,7093	2300994	4,221538	3,9	0,00130869	3011,29574	151,975368	88,179	302,443004	174,163685	937,66	0,54	19,39
52447,1774	10321,6613	2303383	4,17419606	9,54	0,00124434	2866,19467	150,271058	203,8698	299,779399	165,966882	991,4	2,42	19,63
52447,1774	15276,5335	2303383	3,94882283	10,92	0,0010387	2392,51868	110,567039	319,41	241,258571	222,634976	989,52	2,88	19,75
46386,4208	16022,3779	2310550	3,68048246	11,43	0,00078838	1821,59554	88,3315791	341,4141	204,894886	228,087784	1007,34	3,05	20,13
40939,766	7997,1561	2317717	3,89559698	12,87	0,00090252	2091,79744	136,345894	211,4541	277,43651	132,585375	1013,33	3,53	19,57
36054,6999	8421,29577	2324884	3,6806665	9,27	0,00071309	1657,86232	114,100661	154,9017	243,377248	135,387355	990,1	2,33	20,29
10851,7093	11983,7088	2386998	-1,33032787	10,2	1,0283E-05	24,5466675	2,66065573	245,31	-14,358896	185,267475	991,45	2,64	19,95
56856,4481	12587,4654	2298605	4,21939046	7,29	0,00132456	3044,64641	143,459276	182,7603	290,629265	192,501864	1017,78	1,67	19,93
52447,1774	11405,4287	2303383	4,1235972	8,13	0,00119763	2758,60614	140,202305	179,5104	285,553865	173,044437	1024,73	1,95	20,92
54613,5017	11983,7088	2300994	4,17071916	9,15	0,00125949	2898,08937	141,804451	212,097	288,084108	180,641431	1052,37	2,29	20,82
56856,4481	12587,4654	2298605	4,21939046	6,12	0,00132456	3044,64641	143,459276	152,5104	290,629265	191,707367	1050,35	1,28	20,08
50355,3	10851,7093	2305772	4,07796585	8,52	0,00113881	2625,83699	138,650839	186,8436	283,038494	170,572093	1071,06	2,08	20,07
64067,5017	17609,8644	2291438	4,25957954	7,65	0,00140768	3225,60702	127,787386	237,5325	267,722129	238,854619	1050,04	1,79	20,95
48335,7414	11983,7088	2308161	3,95191442	8,22	0,00101451	2341,65999	122,509347	188,3202	259,099525	179,197381	1081,99	1,98	21,09
50355,3	14561,1623	2305772	3,90414705	11,28	0,00098789	2277,8529	109,316118	305,0112	239,1508	208,806776	1122,46	3	20,96
50355,3	11983,7088	2305772	4,02410258	6,57	0,00109157	2516,90287	128,771283	153,6066	268,679598	181,708534	1050,66	1,43	20,62
46386,4208	10851,7093	2310550	3,93754408	14,79	0,00098708	2280,68774	126,001411	313,8438	263,959192	166,795273	797,38	4,17	20,78
30330,6931	8421,29577	2334440	3,43165894	13,11	0,00052498	1225,52494	92,6547913	231,6537	208,054773	140,462004	190,21	3,61	19,33
19332,6867	6482,14708	2358330	3,00158235	10,32	0,0002666	628,722832	66,0348117	137,8752	158,130657	111,638265	175,12	2,68	18,64

20247,8197	6835,0599	2355941	3,02365511	12,96	0,00028059	661,055621	66,5204125	183,1248	159,607354	116,799868	196,08	3,56	18,87
17609,8644	4681,74522	2363108	3,09769878	12,24	0,00027623	652,772931	80,5401684	86,0472	180,093962	72,9952626	686,11	3,32	18,97
11983,7088	4429,08089	2382220	2,70015988	5,28	0,00013958	332,498862	51,3030378	29,8848	126,003934	65,1076858	739,96	1	19,34
8865,0394	3534,52194	2396554	2,53200261	11,46	9,1798E-05	219,999211	43,0440444	8,2512	107,414583	36,9394137	1050,97	3,06	20,28
7591,87894	3150,30652	2403721	2,45187359	8,91	7,3848E-05	177,509838	39,2299774	-10,7811	98,6507182	26,0540486	986,88	2,21	20,21
6835,0599	2972,42881	2408499	2,38338501	13,32	6,2304E-05	150,060034	35,7507752	-29,8368	91,124633	20,3506023	994,6	3,68	20,24
5824,04787	2972,42881	2415666	2,1969299	10,23	4,2273E-05	102,116357	26,3631587	-29,2578	71,8122682	17,0483192	1027,69	2,65	20,86
5824,04787	2972,42881	2415666	2,1969299	14,1	4,2273E-05	102,116357	26,3631587	-44,979	71,8122682	15,2821076	1035,26	3,94	21,19
5517,61675	2972,42881	2418055	2,12936532	13,02	3,6534E-05	88,3400495	23,4230185	-29,5554	65,4985398	20,1912958	516,97	3,58	20,27
6145,35391	3150,30652	2413277	2,20568144	10,83	4,462E-05	107,679763	26,4681773	-10,2885	72,5254432	27,4322347	195,57	2,85	19,95
7204,74566	3534,52194	2406110	2,29025311	8,4	5,6944E-05	137,013583	29,7732905	15,624	80,5284459	42,9593937	197,42	2,04	19,14
7591,87894	3337,5311	2403721	2,40402485	6,18	6,9355E-05	166,709194	36,0603727	2,2248	92,9312786	34,6709522	848,25	1,3	19,64

Tabla D:5 Datos calculados y de laboratorio para el 21 de mayo de 2017

DATOS CALCULADOS										DATOS DE LABORATORIO			
P_a	P_c	h_{fg}	$h_{conv,a-c}$	$h_{conv,c-aire}$	\dot{m}_e	\dot{q}_e	$q_{conv,a-c}$	$q_{conv,c-aire}$	$q_{rad,a-c}$	$q_{rad,c-aire}$	G_{total} (W/m ²)	V (m/s)	T_{amb}
19332,6867	7997,1561	2358330	2,83903895	7,11	0,00022243	524,566809	51,1027011	147,3903	131,753379	154,764668	690,72	1,61	15,27
36054,6999	9329,15173	2324884	3,62276924	9,21	0,00067882	1578,17405	105,060308	218,0007	229,676908	174,489493	443,81	2,31	15,33
34542,5776	10851,7093	2327273	3,46029424	9,96	0,00057416	1336,23122	86,507356	271,1112	199,690067	197,859958	1006,8	2,56	14,78
48335,7414	13875,2075	2308161	3,86083861	9,84	0,00093956	2168,65893	108,103481	307,5	237,055348	228,612204	704,98	2,52	15,75
59178,2404	11983,7088	2296216	4,32099767	6,9	0,00144761	3324,01761	155,555916	200,031	307,817498	210,764114	814,21	1,54	15,01
37623,751	8865,0394	2322495	3,7158888	8,49	0,00075001	1741,88604	115,192553	191,2797	245,58319	167,043182	427,06	2,07	15,47
24295,9534	8865,0394	2346385	3,08066028	9,78	0,00033024	774,859684	64,693866	220,1478	158,788354	166,942082	400,93	2,5	15,49
22191,757	7591,87894	2351163	3,06997723	7,26	0,00031073	730,587077	67,5394991	142,296	162,588282	147,558542	407,72	1,66	15,4

17609,8644	5517,61675	2363108	2,9959834	5,07	0,00024989	590,519223	68,9076181	69,459	161,518384	110,057664	457,39	0,93	15,3
19332,6867	5824,04787	2358330	3,07340988	8,55	0,00028696	676,736619	73,7618371	125,001	170,943304	115,836043	644,6	2,09	15,38
24295,9534	7591,87894	2346385	3,19205893	4,89	0,00037041	869,122357	76,6094142	94,8171	179,048772	146,496711	632,1	0,87	15,61
30330,6931	9329,15173	2334440	3,36577224	4,8	0,00049356	1152,1884	84,1443061	109,728	194,354433	170,38405	771,1	0,84	16,14
40939,766	9814,42136	2317717	3,78971443	7,53	0,00082956	1922,68553	117,481147	173,4912	250,035012	172,995704	908,62	1,75	16,96
36054,6999	12587,4654	2324884	3,42130967	6,69	0,00056291	1308,70543	78,6901224	184,5771	186,996994	205,668044	574,84	1,47	17,41
40939,766	12587,4654	2317717	3,63505902	5,43	0,00072481	1679,91526	94,5115346	150,954	214,302919	206,749874	480,7	1,05	17,2
26571,3338	7997,1561	2341607	3,27954896	8,01	0,00042403	992,913278	81,988724	150,9084	189,114744	145,137363	613,57	1,91	17,16
37623,751	8865,0394	2322495	3,7158888	3,36	0,00075001	1741,88604	115,192553	68,7792	245,58319	156,518856	974,9	0,36	17,53
59178,2404	13875,2075	2296216	4,24265463	8,25	0,00136439	3132,94349	140,007603	235,7025	285,773321	214,83636	848,75	1,99	18,43
42690,3998	11983,7088	2315328	3,73865002	8,76	0,00080821	1871,26561	104,682201	231,1764	230,842546	197,50702	513,39	2,16	17,61
34542,5776	12587,4654	2327273	3,34982844	9,18	0,00051511	1198,79751	73,6962257	263,925	178,050974	211,614602	541,05	2,3	16,25
34542,5776	7204,74566	2327273	3,7006152	10,47	0,00070856	1649,01878	122,120301	183,9579	254,499609	135,840581	628,71	2,73	16,43
22191,757	10321,6613	2351163	2,81137752	12,48	0,00023135	543,952519	44,9820403	301,392	121,483989	180,427393	991,1	3,4	16,85
56856,4481	10851,7093	2298605	4,29474286	6,69	0,00140108	3220,52994	158,905486	161,6973	312,268358	182,309055	1147,85	1,47	17,83
37623,751	10321,6613	2322495	3,62720763	8,91	0,00069503	1614,19467	101,561814	206,2665	224,739316	175,273414	891,47	2,21	17,85
34542,5776	9329,15173	2327273	3,55840948	8,67	0,00062839	1462,43101	99,6354654	181,7232	220,730887	160,617698	924,01	2,13	18,04
33085,6546	7591,87894	2329662	3,6134424	8,34	0,00064454	1501,56073	112,016715	146,4504	239,005101	137,145034	626,63	2,02	17,44
19332,6867	9814,42136	2358330	2,64215141	5,01	0,00017382	409,92378	36,9901198	109,4184	104,35188	166,797492	784,96	0,91	18,16
34542,5776	10851,7093	2327273	3,46029424	6,96	0,00057416	1336,23122	86,507356	159,9408	199,690067	176,107437	771,58	1,56	19,02
48335,7414	12587,4654	2308161	3,92266701	5,94	0,00099028	2285,7259	117,68001	155,034	251,819328	197,924537	726,64	1,22	18,9
31682,2425	8421,29577	2332051	3,49372259	8,1	0,00056802	1324,6569	97,8242324	155,682	216,770435	148,55058	488,13	1,94	17,78
22191,757	7997,1561	2351163	3,03158098	9,75	0,00029833	701,422935	63,6632005	178,5225	155,898957	142,403642	654,16	2,49	17,69
24295,9534	6835,0599	2346385	3,25945835	9,54	0,00039537	927,682798	84,7459171	141,3828	192,237008	120,399458	957,77	2,42	18,18
24295,9534	6482,14708	2346385	3,29138857	5,43	0,00040731	955,704185	88,8674915	78,0291	198,736726	116,88612	678,36	1,05	17,63
23223,1532	7204,74566	2348774	3,16678944	6,81	0,00035203	826,84886	76,0029465	110,1858	177,407613	128,693172	668,93	1,51	17,82
24295,9534	6835,0599	2346385	3,25945835	9,24	0,00039537	927,682798	84,7459171	141,7416	192,237008	123,095336	700,36	2,32	17,66

23223,1532	6482,14708	2348774	3,23403349	9,03	0,00037573	882,497886	84,0848707	131,7477	190,469848	118,021985	631,1	2,25	17,41
22191,757	7591,87894	2351163	3,06997723	6,63	0,00031073	730,587077	67,5394991	115,0305	162,588282	136,060519	1254,06	1,45	17,65
36054,6999	10321,6613	2324884	3,56066998	11,28	0,00064241	1493,51779	96,1380896	244,5504	215,715617	167,599949	1130,91	3	19,32
50355,3	14561,1623	2305772	3,90414705	10,74	0,00098789	2277,8529	109,316118	308,3454	239,1508	217,663119	1091,32	2,82	19,29
56856,4481	13875,2075	2298605	4,16469585	6,87	0,00126936	2917,76185	133,270267	189,2685	275,865285	209,492462	1068,86	1,53	19,45
52447,1774	13875,2075	2303383	4,01139564	8,1	0,00109494	2522,05714	120,341869	219,348	256,296796	207,011184	1103,39	1,94	19,92
27776,7887	11983,7088	2339218	3,03164904	10,53	0,00033363	780,428932	54,5696828	252,1935	141,750644	184,737838	1073,58	2,75	20,05
17609,8644	6835,0599	2363108	2,8409659	10,5	0,00021114	498,95689	53,9783521	150,045	135,892291	117,636833	282,79	2,74	18,71
15276,5335	5824,04787	2370275	2,78366739	10,8	0,00018095	428,894988	52,8896804	128,736	132,125721	102,008995	303,12	2,84	18,08
15276,5335	5517,61675	2370275	2,82455708	12,03	0,00018956	449,303263	56,4911417	138,345	138,439449	98,8297155	446,88	3,25	17,5
12587,4654	4188,51825	2379831	2,79528193	10,23	0,0001608	382,682031	58,7009204	64,1421	139,295821	67,6211991	667,27	2,65	17,73
10851,7093	3741,71373	2386998	2,7110651	4,35	0,00013163	314,193269	54,2213019	15,2685	129,502812	52,0740493	819,37	0,69	18,49
14561,1623	4947,02905	2372664	2,84575548	14,28	0,00018796	445,959402	59,7608651	123,8076	143,330103	82,3418935	319,93	4	18,33
21200,4168	5824,04787	2353552	3,1855729	11,43	0,00033924	798,415468	82,8248954	129,5019	186,968101	98,9358352	1019,58	3,05	18,67
33085,6546	9814,42136	2329662	3,46163046	14,31	0,00056363	1313,06948	90,002392	311,5287	204,914277	166,433555	1051,24	4,01	18,23
34542,5776	10321,6613	2327273	3,49424096	12	0,00059277	1379,52961	90,850265	275,4	206,769597	174,236217	272,98	3,24	18,05
21200,4168	7204,74566	2353552	3,0464479	7,29	0,00029529	694,984449	67,0218537	115,7652	161,09322	127,137057	245,03	1,67	18,12
19332,6867	6482,14708	2358330	3,00158235	12,09	0,0002666	628,722832	66,0348117	165,3912	158,130657	113,306865	347,06	3,27	18,32
21200,4168	7997,1561	2353552	2,96824521	17,43	0,00027142	638,805398	59,3649041	302,7591	147,778176	137,518244	980,79	5,05	18,63
23223,1532	9329,15173	2348774	2,97351549	14,4	0,00028671	673,418667	56,4967942	297,648	143,638892	159,110115	374,25	4,04	18,33
31682,2425	7591,87894	2332051	3,55312738	14,79	0,00059828	1395,21692	106,593821	233,8299	230,213098	128,035285	994,3	4,17	19,19
26571,3338	8865,0394	2341607	3,20915982	14,31	0,00039554	926,203954	73,8106759	282,9087	175,54365	152,891283	670,59	4,01	18,23
24295,9534	7997,1561	2346385	3,15640691	12,36	0,00035739	838,563873	72,5973588	216,0528	172,359447	138,092386	1033,59	3,36	18,52
33085,6546	10321,6613	2329662	3,42782434	11,55	0,00054596	1271,90482	85,6956085	259,9905	197,900808	171,946847	1022,55	3,09	18,49
22191,757	7204,74566	2351163	3,10684695	13,26	0,0003228	758,966311	71,4574799	193,8612	169,214001	120,54864	861,38	3,66	19,38
25411,5405	6835,0599	2343996	3,31770032	11,73	0,00042858	1004,58849	89,5779088	156,9474	200,577587	112,858209	953,91	3,15	19,62
19332,6867	6145,35391	2358330	3,03817846	13,17	0,00027692	653,067167	69,8781045	155,8011	164,567979	102,559328	894,78	3,63	19,17

23223,1532	5824,04787	2348774	3,29671829	7,02	0,00039807	934,967166	92,308112	78,273	203,282494	97,9945404	857,44	1,58	18,85
27776,7887	7591,87894	2339218	3,37289379	10,02	0,0004744	1109,72937	91,0681323	151,302	204,293362	124,292345	854,53	2,58	19,9
29029,3982	9329,15173	2336829	3,30139999	6	0,00045366	1060,12582	79,2335998	117,18	185,714668	153,139973	908,42	1,24	19,47
18453,7724	6145,35391	2360719	2,9802135	11,07	0,00025328	597,911955	65,564697	121,1058	156,663101	97,8641001	449,45	2,93	20,06
12587,4654	5225,46817	2379831	2,62908596	7,38	0,00013257	315,491775	44,6944614	62,5824	114,889774	82,1710329	652,53	1,7	19,52
13875,2075	5517,61675	2375053	2,70601367	9,75	0,00015521	368,636805	48,7082461	93,99	123,401224	89,135872	393,04	2,49	19,36
20247,8197	5225,46817	2355941	3,19423921	12,06	0,00033199	782,15524	86,2444585	111,3138	191,485977	86,1086477	187,7	3,26	18,77
17609,8644	5517,61675	2363108	2,9959834	9,39	0,00024989	590,519223	68,9076181	84,4161	161,518384	85,7043154	753,45	2,37	20,01
14561,1623	6145,35391	2372664	2,67858303	5,1	0,00015486	367,4418	45,5359116	63,852	118,196792	106,170041	693,19	0,94	18,48
19332,6867	5824,04787	2358330	3,07340988	9,75	0,00028696	676,736619	73,7618371	98,5725	170,943304	92,5217475	386,71	2,49	19,89
11405,4287	4429,08089	2384609	2,64293276	11,13	0,00012603	300,539695	47,5727897	72,4563	118,791042	69,5597863	667,84	2,95	18,49
7997,1561	4188,51825	2401332	2,25496869	8,43	5,8297E-05	139,990253	27,0596242	43,3302	76,1622298	61,7401469	314,58	2,05	18,86
8421,29577	3534,52194	2398943	2,47431247	10,74	8,2157E-05	197,089908	39,5889995	26,6352	100,596827	46,203969	118,61	2,82	18,52
9814,42136	3741,71373	2391776	2,60116918	11,4	0,00010765	257,47708	46,8210452	51,186	115,409813	57,1589461	105,68	3,04	17,51
7591,87894	3337,5311	2403721	2,40402485	11,07	6,9355E-05	166,709194	36,0603727	28,4499	92,9312786	46,2014083	193,57	2,93	17,43
9329,15173	3741,71373	2394165	2,54440189	5,76	9,679E-05	231,732011	43,2548321	22,2912	108,461992	53,947942	426,84	1,16	18,13
16022,3779	5225,46817	2367886	2,92017461	7,23	0,00021704	513,920444	64,2438414	68,3235	152,314987	87,2579366	513,21	1,65	18,55
19332,6867	7591,87894	2358330	2,88239147	9,87	0,0002339	551,618147	54,765438	166,1121	138,442704	133,364919	158,65	2,53	18,17
22191,757	8865,0394	2351163	2,94966182	10,71	0,00027252	640,741752	56,0435745	207,4527	142,327863	150,806606	517,63	2,81	18,63
19332,6867	8865,0394	2358330	2,74578844	13,35	0,00019865	468,493702	43,9326151	258,456	118,182285	150,754379	493,67	3,69	18,64
16799,7824	6145,35391	2365497	2,86231904	11,52	0,00021014	497,090888	57,2463808	148,608	141,06624	108,147632	172,71	3,08	18,1
12587,4654	4947,02905	2379831	2,67337512	6,9	0,0001399	332,939766	48,1207522	57,891	121,081502	80,8820188	287,36	1,54	18,61
8421,29577	3959,55695	2398943	2,37582646	6,42	7,2026E-05	172,78517	33,2615705	31,3938	88,8680282	59,8226833	129,1	1,38	18,11
7204,74566	3337,5311	2406110	2,3432606	5,79	6,1389E-05	147,708832	32,8056485	12,9696	86,30556	44,4962906	213,94	1,17	17,76
9329,15173	3959,55695	2394165	2,49851859	7,2	9,1339E-05	218,681328	39,9762974	35,568	102,568369	60,0823435	148,87	1,64	18,06
10851,7093	4947,02905	2386998	2,48988906	6,18	0,00010039	239,642578	37,3483359	51,603	99,4424087	80,6731216	351	1,3	18,65
11405,4287	4681,74522	2384609	2,59881891	6,42	0,00011944	284,820262	44,1799214	46,2882	112,719733	73,9377193	330,66	1,38	18,79

10851,7093	5225,46817	2386998	2,43884177	7,89	9,37E-05	223,660642	34,1437847	73,2981	93,250681	86,4223481	307,92	1,87	18,71
8865,0394	3959,55695	2396554	2,43811878	9,81	8,1346E-05	194,950426	36,5717816	38,1609	95,6857846	54,6013143	302,84	2,51	19,11
7204,74566	3534,52194	2406110	2,29025311	8,37	5,6944E-05	137,013583	29,7732905	23,0175	80,5284459	47,6104741	175,94	2,03	18,25
5824,04787	3337,5311	2415666	2,07433823	12,48	3,4803E-05	84,0733918	20,7433823	29,2032	60,4306784	45,0136065	91,96	3,4	17,66
2972,42881	2972,42881	2444334	0	9,09	0	0	0	6,6357	0	35,8815692	169,32	2,27	17,27

Anexo E: Datos de agua destilada obtenida



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS



ORDEN DE TRABAJO Nº 0055874

Emtido el 23/May/2017 - 11:21 - SISSE

ANALISIS FISICO - QUIMICO Y / O MICROBIOLOGICO Y/O BROMATOLOGICO

1.- Solicitado por: LUNA JONATAN / No. 54297
2.- Dirección: LABOR
3.- RUC/CC: 0401329361 Teléfono: 0994024203
4.- Tipo de Muestra: AGUA
5.- N° de Muestras: 1 Código asignado: XXI
6.- Descripción de la Muestra/s: AGUA DESTILADA

a) Lote: _____ Contenido: _____
b) Fecha Elab.: XXI Fecha Venc.: 1L
7.- Fecha de Recepción: XXI Hora de Recepción: XXI
8.- Enviado a: 2017.05.23 Naturaleza del análisis: 11:19
9.- Asignado a: QUIMICA AMBIENTAL F.O.
10.- Observaciones: BIOG. ALCICIA DEPA

11.- PARAMETROS DEL ANALISIS: CONDUCTIVIDAD () 4.007PH-POTENCIAL () 11 4.00/
SODIO (NA)-AM () 8.00/CLORURO (CI) () 7.00/

12.- Costo del Análisis:

VALOR	%	DESC.	SUBTOTAL	I.V.A.	A PAGAR
23.00	0	0.00	23.00	3.22	26.22

AUTORIZADO POR: _____

CLIENTE: _____



NOTA: UNA VEZ REVISADO EL PRESENTE DOCUMENTO, NO SE ACEPTAN CAMBIOS EN EL INFORME DE RESULTADOS

Dirección: Francisco Viteri c/o

Scanned by CamScanner



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. AMB 44180
ORDEN DE TRABAJO No. 55874

SOLICITADO POR:	LUNA JONATAN				
DIRECCION DEL CLIENTE:	LA GASCA				
MUESTRA DE:	AGUA				
DESCRIPCION:	AGUA DESTILADA				
FECHA DE RECEPCION:	23/05/2017	HORA DE RECEPCION:	11H19		
FECHA DE ANALISIS:	DEL 23/05/2017 AL 29/05/2017				
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:	30/05/2017				
CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA					
CARACTERISTICA:	TRANSPARENTE	ESTADO:	LIQUIDO	CONTENIDO:	1 L
OBSERVACIONES:	* Los resultados se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregadas al personal técnico del OSP. * La fecha de recepción corresponde a la fecha en la que se emite la factura.				

RESULTADOS

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODOS	INCERTIDUMBRE %
CLORUROS	mg/L	<5	MAM-07 / APHA 4500 Cl B MODIFICADO	-
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	66,8 [20,4°C]	MAM-10 / APHA 2510 B MODIFICADO	-
POTENCIAL HIDROGENO	-	6,4	MAM-34 / APHA 4500-H ⁺ B MODIFICADO	2,60
SODIO	mg/L	4,16	MAM-27 / APHA 3111 B ,ODIFICADO	9,96



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"




B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL



1 11

RAM-4.1.04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com

Scanned by CamScanner

Anexo F: Imágenes termo – gráficas

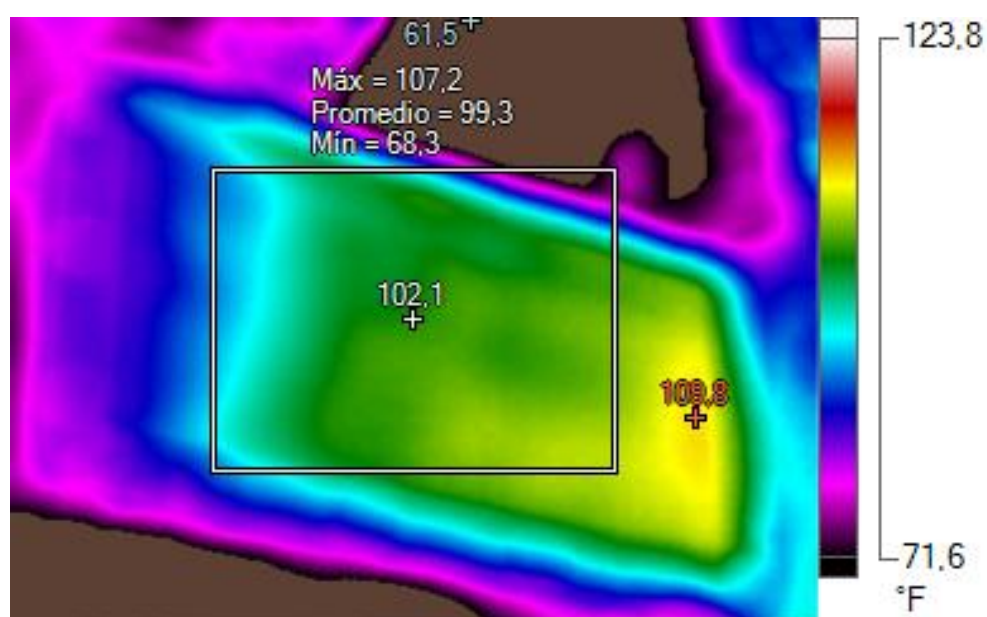


Figura F1: Datos tomados durante el horario de 9:46 am

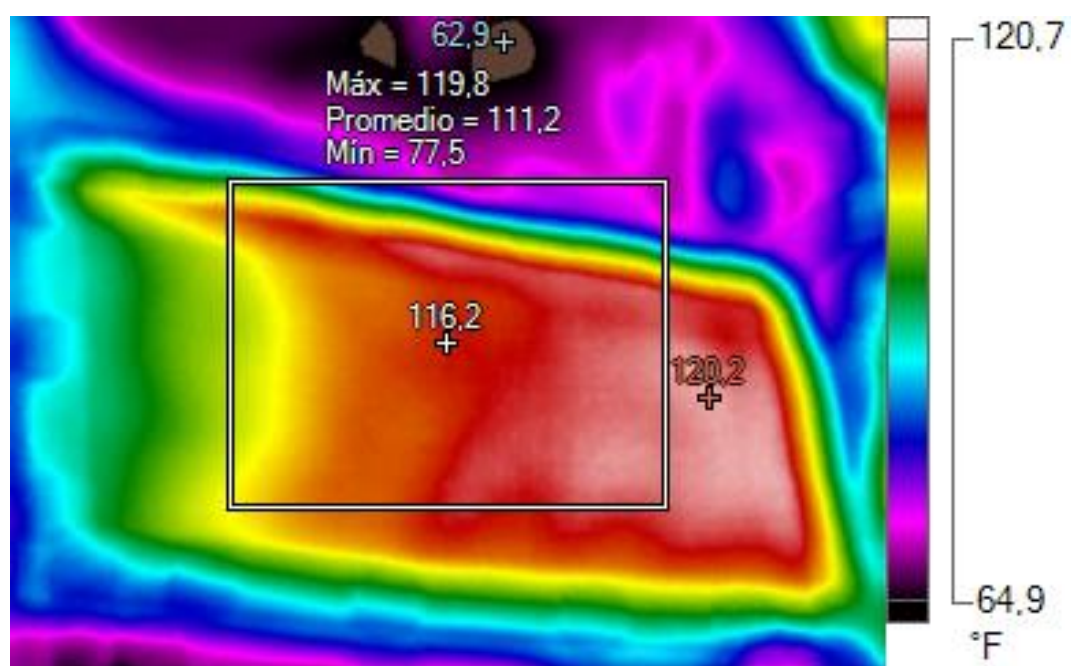


Figura F2: Datos tomados durante el horario de 10:43 am

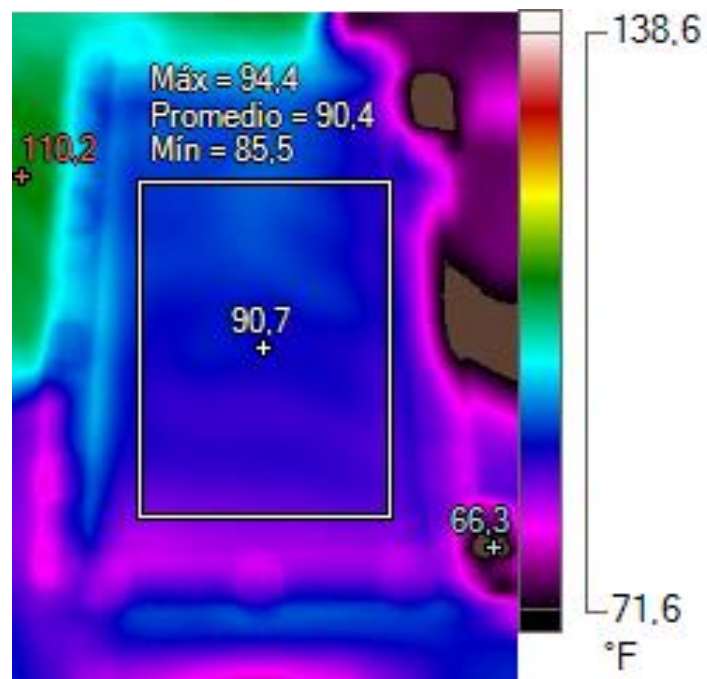


Figura F3: Datos tomados durante el período de 2:30 pm

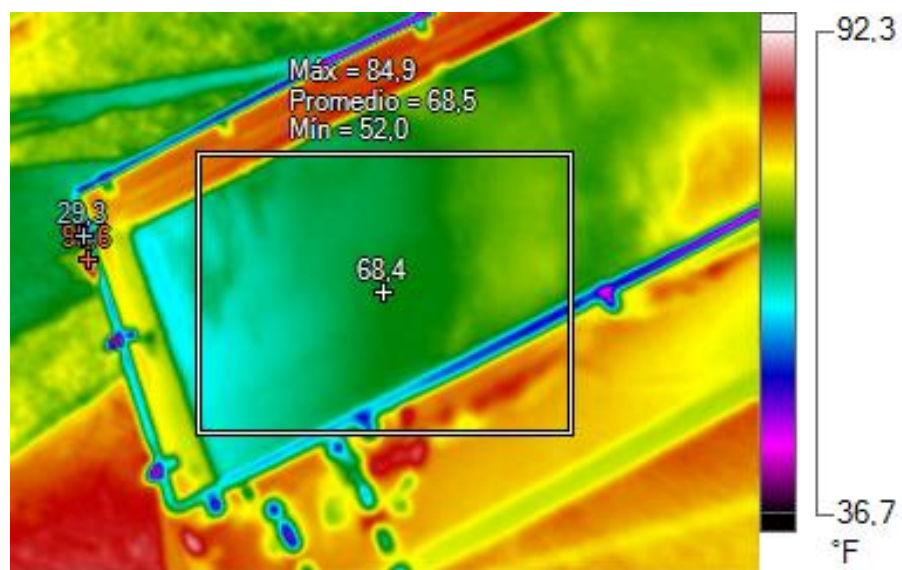


Figura F4: Datos tomados durante el período de 5:02 pm

Anexo G: Dimensiones y parámetros medibles

Tabla G:1 Dimensiones del prototipo

Tabla de dimensiones	
Largo	705
Ancho	558
Altura	716

Tabla G:2 Parámetros medibles en el prototipo

Denominación	Símbolo	Unidad
Temperatura ambiente	T_{amb}	$^{\circ}C$
Temperatura del agua	T_a	$^{\circ}C$
Temperatura del vidrio	$T_{s,c}$	$^{\circ}C$
Volumen inicial	V_i	l
Volumen destilado	V_d	l
Volumen final	V_f	l

Anexo H: Especificaciones del multímetro



Sampling speed: 2 times per second
 Over-load indication: "1" is displayed
 Operating Environment: 0°C~40°C, at <80%RH
 Storage Environment: -10°C~50°C, at <85%RH
 Power: 9V NEDA 1604 or 6F22
 Low battery indication: "1" is displayed
 Static electricity: about 4mA
 Product Size: 126 x 70 x 26mm
 Product net weight: 108g (including battery)

83 Series Multimeters Function Table

Model	DCV	ACV	DCA	OHM	Hz	hFE	BAT	°C
830A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
830B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
830C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
830D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
831	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
832	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
838	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Technical Specifications

Accuracies are guaranteed for 1 year, 23°C±5°C, less than 80%RH

DC VOLTAGE

RANGE	RESOLUTION	ACCURACY
200mV	100uV	±(0.5% of rdg + 3D)
2000mV	1mV	
20V	10mV	±(0.8% of rdg + 5D)
200V	100mV	
1000V	1V	±(1.0% of rdg + 5D)

OVERLOAD PROTECTION: 220V rms AC for

(10A range unfused).

MEASURING VOLTAGE DROP: 200mV

RESISTANCE

RANGE	RESOLUTION	ACCURACY
200Ω	0.1Ω	±(1.0% of rdg +10D)
2000Ω	1Ω	
20KΩ	10Ω	±(1.0% of rdg +4D)
200KΩ	100Ω	
2000KΩ	1KΩ	

MAXIMUM OPEN CIRCUIT VOLTAGE: 3V.

OVERLOAD PROTECTION: 15 seconds maximum 220Vrms.

Battery Test (1.5V, 9V)

RANGE	RESOLUTION	LOAD RESISTOR
1.5V	10mV	2KΩ
9V		75Ω

OPERATOR'S INSTRUCTION MANUAL

830 SERIES DIGITAL MULTIMETER

WARNING

READ AND UNDERSTAND THIS MANUAL BEFORE USING THE INSTRUMENT.

Failure to understand and comply with the WARNINGS and operating instructions can result in serious or fatal injuries and/or property damage.

200mV range and 1000V DC or 750V rms for all ranges.

AC VOLTAGE

RANGE	RESOLUTION	ACCURACY
200V	100mV	±(2.0% of rdg +10D)
750V	1V	

RESPONSE: Average responding, calibrated in rms of a sine wave.

FREQUENCY RANGE: 45Hz ~ 450Hz

OVERLOAD PROTECTION: 1000V DC or 750V rms for all ranges.

AUDIBLE CONTINUITY

RANGE	DESCRIPTION
⎓	Built-in buzzer sounds if resistance is less than 30±20Ω

OVERLOAD PROTECTION: 15 second maximum 220 V rms.

DC CURRENT

RANGE	RESOLUTION	ACCURACY
200uA	100nA	±(1.8% of rdg +2D)
2000uA	1uA	
20mA	10uA	±(2.0% of rdg +2D)
200mA	100uA	
10A	10mA	±(2.0% of rdg +10D)

OVERLOAD PROTECTION: 500mA/250V fuse

AUDIBLE CONTINUITY TEST

1. Red lead to "VΩmA", Black lead to "COM".
2. RANGE switch to "⎓" position.
3. Connect test leads to two points of circuit to be tested. If the resistance is lower than 30Ω±20Ω, the buzzer will sound.

TEST SIGNAL USE

1. RANGE switch to "⎓" position.
2. A test signal (50Hz) appears between "VΩmA" and "COM" jack, the output voltage is approx 5V p-p with 50KΩ impedance.

NOTE: OVERLOAD PROTECTION: 15 seconds maximum 220Vrms.

Anexo I: Especificaciones de las termocuplas

TEMPERATURE (with K-TYPE PROBE)

RANGE	RESOLUTION	ACCURACY
-40°C to 150 °C	1°C	$\pm(1.0\% + 4)$
150°C to 1370 °C		$\pm(1.5\% + 15)$

TEMPERATURE MEASUREMENT

1. RANGE switch to TEMP position, it will display room temperature in °C value.
2. Connect the K-type thermoelectric couple to "VΩmA" and "COM" jacks.
3. The display will read Temperature value °C.

NOTE: The TP-01 K-type thermocouple Max. Operating temperature of Probe: 250 C/482 F (300 C/572 F short-term). The sensor supplied with the instrument is an ultra fast response naked bead thermocouple suitable for many general purpose applications.

ACCESSORIES

- Operator's instruction manual
- Set of test leads
- Gift box
- TP01 K-type thermoelectric couple (830C, 838 only)
- 9-volt battery, NEDA 1604 6F22 type.

Anexo J: Imágenes de costos de comercialización de agua destilada



Figura. J1 Precio Empresa “Puritech”

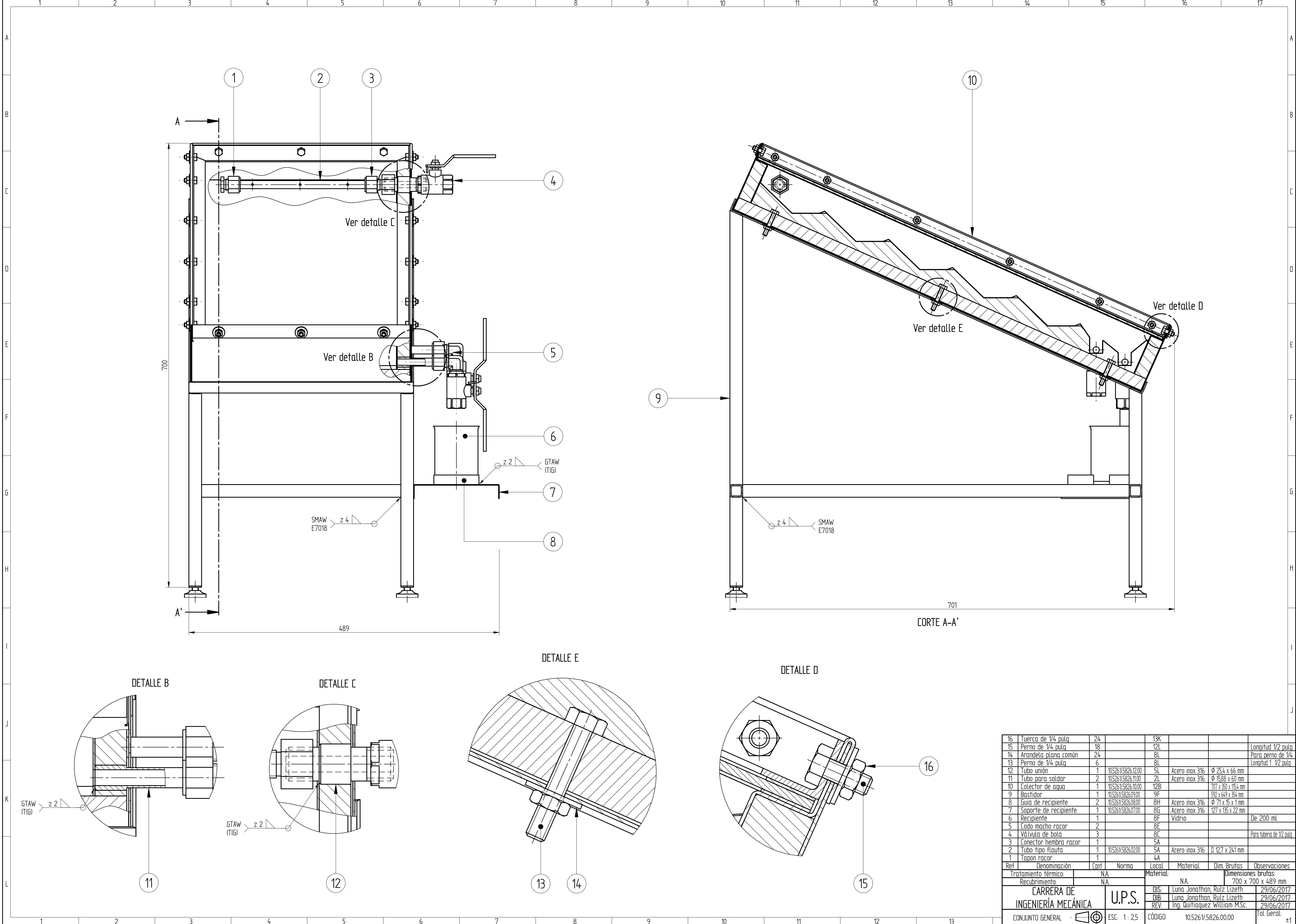


Figura.J2 Precio Empresa “Fam Project”

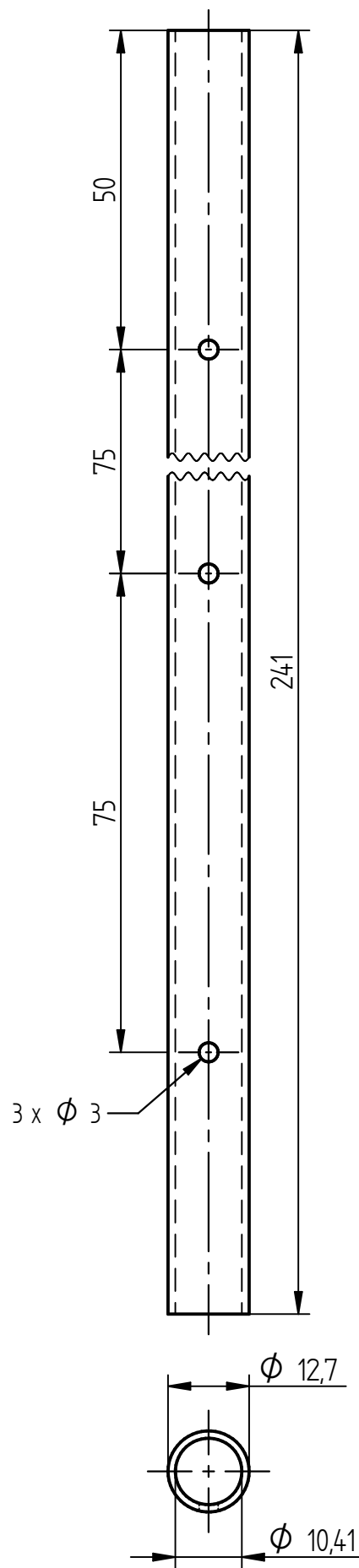


Figura. J3 Precio Empresa “VIAR”

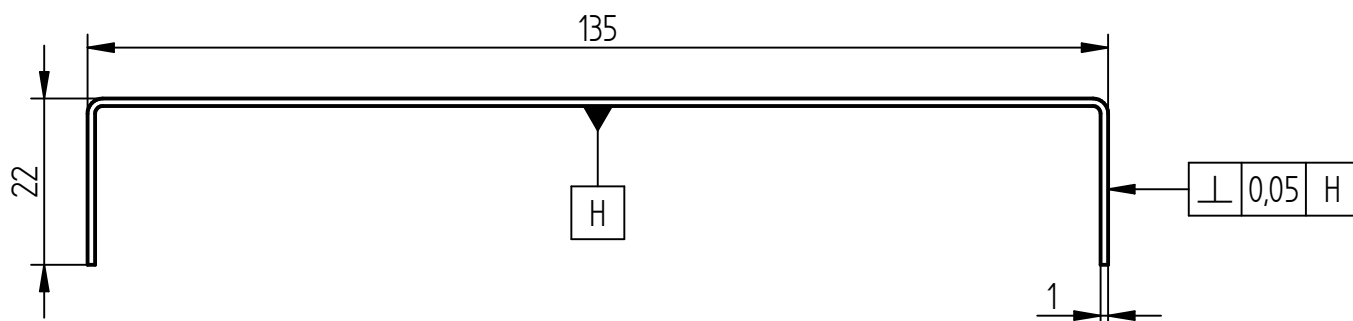
Anexo K: Planos



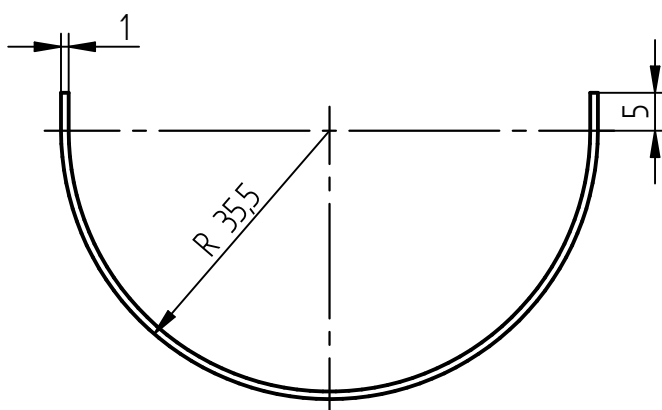
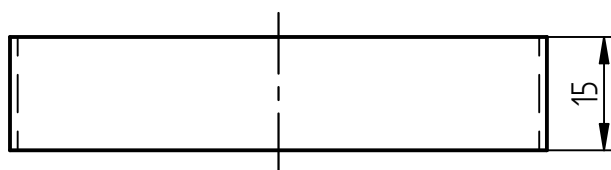
16	Tuerca de 1/4 pulg	24		13K				
15	Perno de 1/4 pulg	18		12L				Longitud 1/2 pulg
14	Arandela plana común	24		8L				Para perno de 1/4
13	Perno de 1/4 pulg	6		8L				Longitud 1 1/2 pulg
12	Tubo unión	1	105261/5826.1200	5L	Acero inox 316	Φ 254 x 66 mm		
11	Tubo para soldar	2	105261/5826.1100	2L	Acero inox 316	Φ 1588 x 60 mm		
10	Colector de agua	1	105261/5826.1000	12B		707 x 350 x 154 mm		
9	Bastidor	1	105261/5826.0900	9F		592 x 649 x 354 mm		
8	Guía de recipiente	2	105261/5826.0800	8H	Acero inox 316	Φ 71 x 15 x 1 mm		
7	Soporte de recipiente	1	105261/5826.0700	8G	Acero inox 316	127 x 135 x 22 mm		
6	Recipiente	1		8F	Vidrio			De 200 ml
5	Codo macho racor	2		8E				
4	Válvula de bola	3		8C				Para tubería de 1/2 pulg
3	Conector hembra racor	1		5A				
2	Tubo tipo flauta	1	105261/5826.0200	5A	Acero inox 316	1127 x 241 mm		
1	Tapón racor	1		4A				
Ref	Denominación	Cant	Norma	Local	Material	Dim. Brutas	Observaciones	
Tratamiento térmico:		N.A.		Material:		Dimensiones brutas:		
Recubrimiento:		N.A.		N.A.		700 x 700 x 489 mm		
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				DIS:		Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
U.P.S.				DIB:		Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
CONJUNTO GENERAL				REV:		Ing. Quiroga William M.Sc.	29/06/2017	
ESC: 1:25				CÓDIGO:		105261/5826.00.00		Tot. Geral: ±1

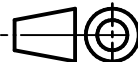


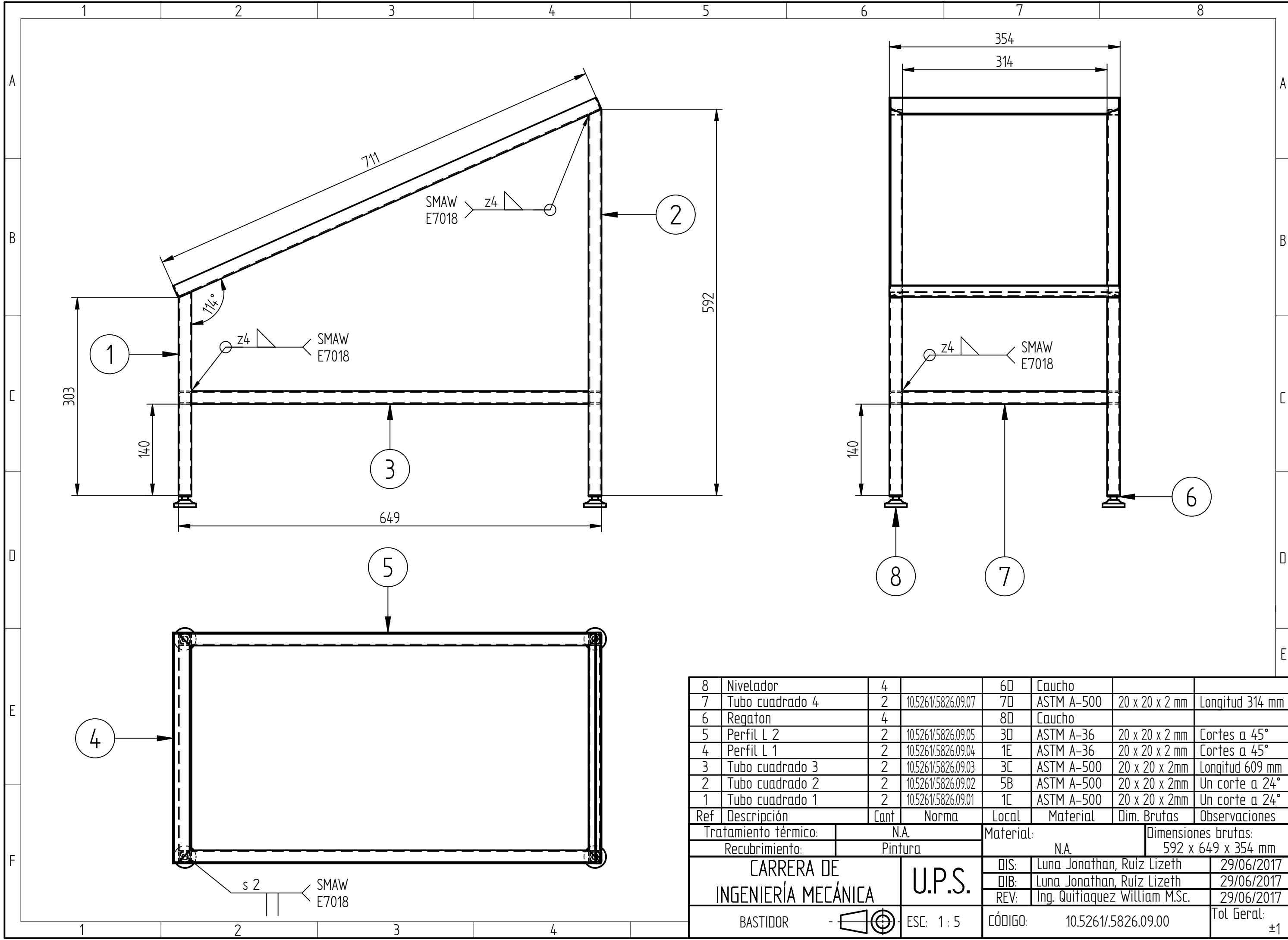
Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Acero inox 316		Dimensiones brutas:
Recubrimiento:	N.A.				Ø12,7 x 241 mm
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		U.P.S.	DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017
			DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017
			REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017
TUBO TIPO FLAUTA		ESC: 1 : 1	CÓDIGO:	10.5261/5826.02.00	Tol Geral: ±0,1



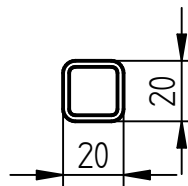
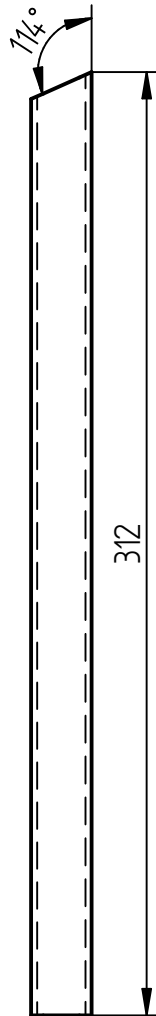
Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Acero inox 316	Dimensiones brutas:	127 x 135 x 22 mm
Recubrimiento:	N.A.				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
SOPORTE DE RECIPIENTE	ESC: 1 : 1	CÓDIGO:	10.5261/5826.07.00	Tol Geral: ±0,1	



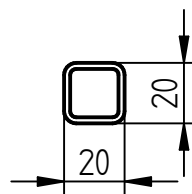
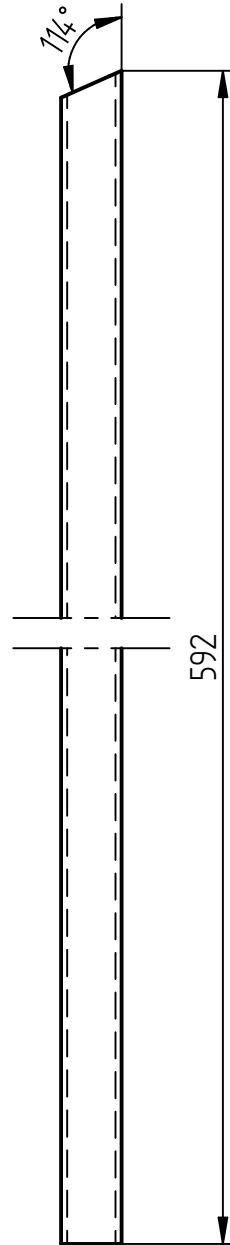
Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Acero inox 316		Dimensiones brutas:
Recubrimiento:	N.A.				$\Phi 71 \times 15 \times 1$ mm
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
GUIA DE RECIPIENTE		ESC: 1 : 1	CÓDIGO:	10.5261/5826.08.00	Tol Geral: $\pm 0,1$

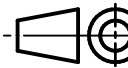


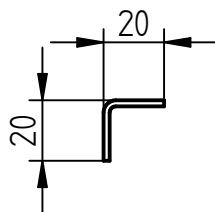
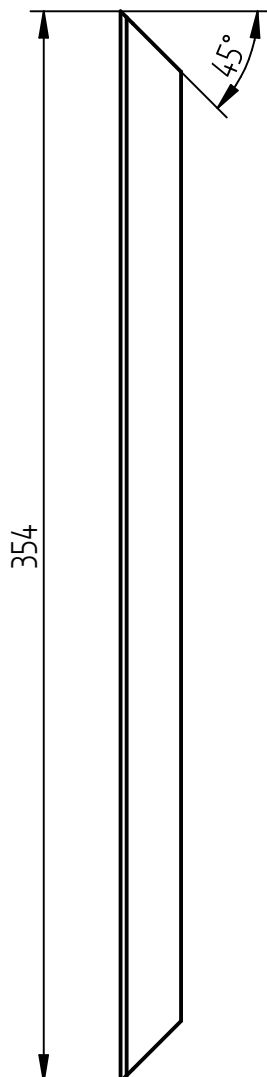
8	Nivelador	4		6D	Caucho		
7	Tubo cuadrado 4	2	10.5261/5826.09.07	7D	ASTM A-500	20 x 20 x 2 mm	Longitud 314 mm
6	Regaton	4		8D	Caucho		
5	Perfil L 2	2	10.5261/5826.09.05	3D	ASTM A-36	20 x 20 x 2 mm	Cortes a 45°
4	Perfil L 1	2	10.5261/5826.09.04	1E	ASTM A-36	20 x 20 x 2 mm	Cortes a 45°
3	Tubo cuadrado 3	2	10.5261/5826.09.03	3C	ASTM A-500	20 x 20 x 2mm	Longitud 609 mm
2	Tubo cuadrado 2	2	10.5261/5826.09.02	5B	ASTM A-500	20 x 20 x 2mm	Un corte a 24°
1	Tubo cuadrado 1	2	10.5261/5826.09.01	1C	ASTM A-500	20 x 20 x 2mm	Un corte a 24°
Ref	Descripción	Cant	Norma	Local	Material	Dim. Brutas	Observaciones
Tratamiento térmico:		N.A.		Material:		Dimensiones brutas:	
Recubrimiento:		Pintura		N.A.		592 x 649 x 354 mm	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			U.P.S.		DIS:	Luna Jonathan, Ruíz Lizeth	29/06/2017
					DIB:	Luna Jonathan, Ruíz Lizeth	29/06/2017
					REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017
BASTIDOR			ESC: 1 : 5	CÓDIGO:		10.5261/5826.09.00	Tol Geral: ±1



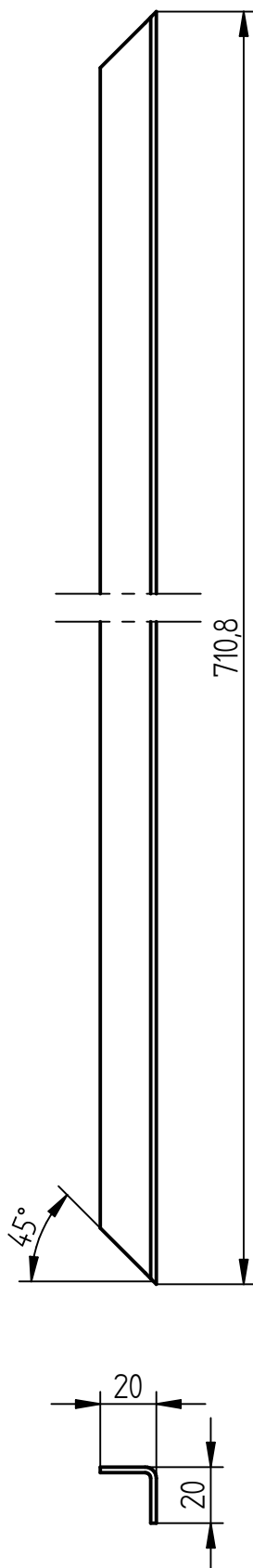
Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	ASTM A-500		Dimensiones brutas:
Recubrimiento:	N.A.				20x20x2 mm
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
TUBO CUADRADO 1		ESC: 1 : 2,5	CÓDIGO:	10.5261/5826.09.01	Tol Geral: ±0,2



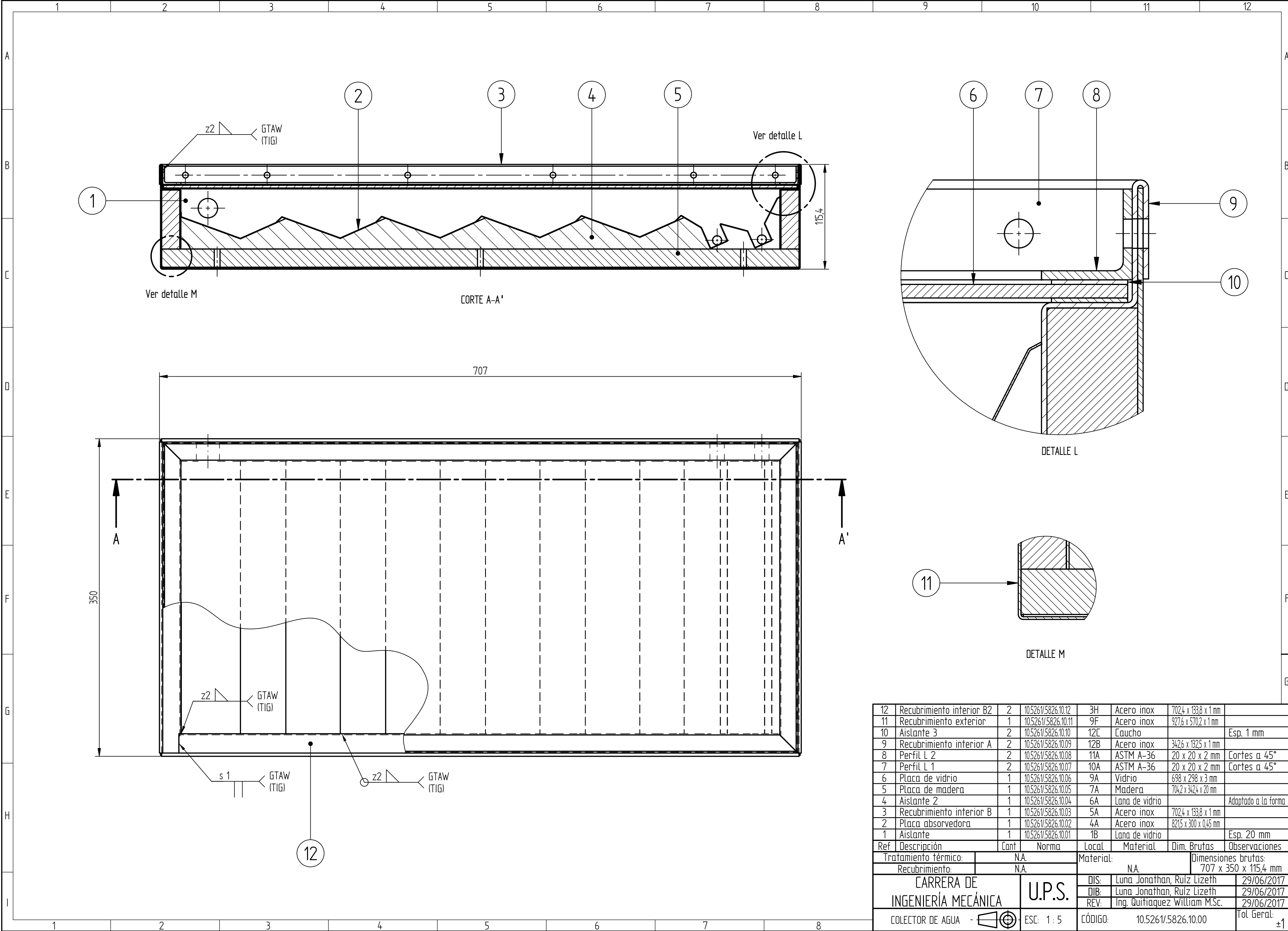
Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	ASTM A-500		Dimensiones brutas:
Recubrimiento:	N.A.				20x20x2 mm
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
TUBO CUADRADO 2		ESC: 1 : 2,5	CÓDIGO:	10.5261/5826.09.02	Tol Geral: ±0,2




Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	ASTM A-36		Dimensiones brutas:
Recubrimiento:	N.A.				20x20x2 mm
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
PERFIL L 1		ESC: 1 : 2,5	CÓDIGO:	10.5261/5826.09.04	Tol Geral: ±0,2

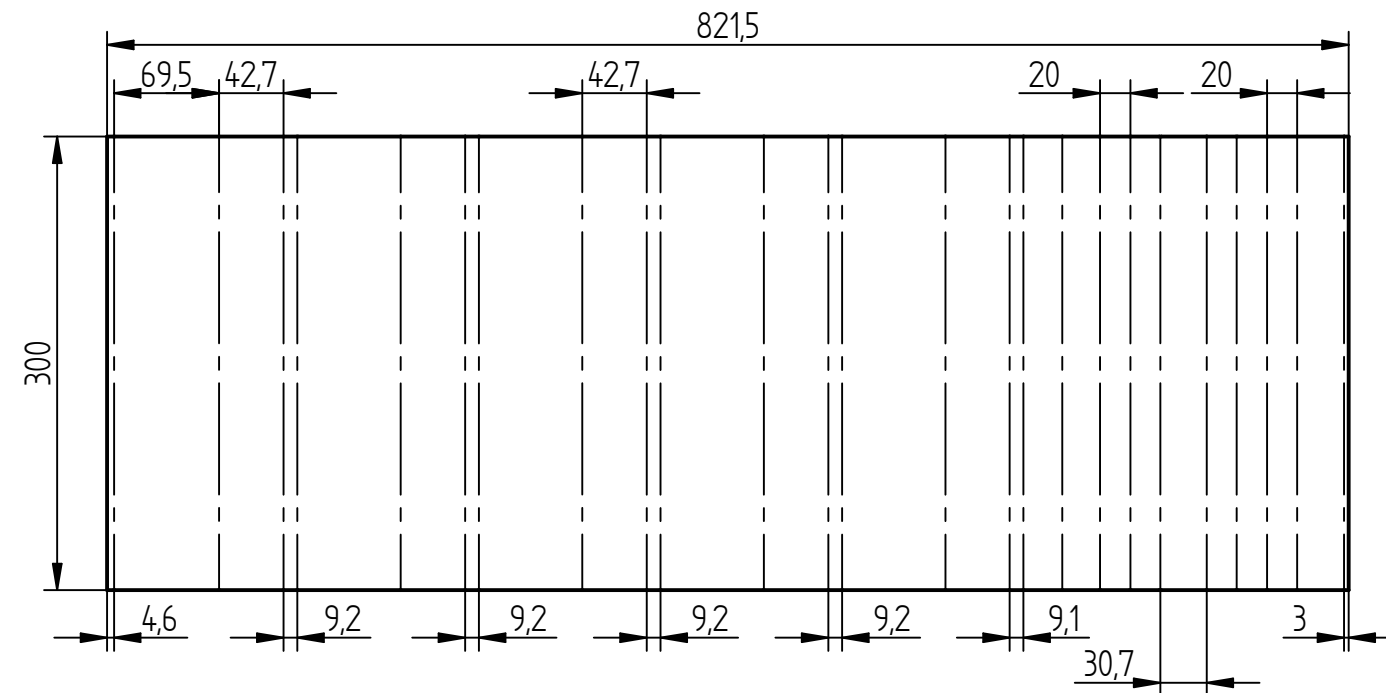


Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	ASTM A-36	Dimensiones brutas:	20x20x2 mm
Recubrimiento:	N.A.				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
PERFIL L 2	ESC: 1 : 2,5	CÓDIGO:	10.5261/5826.09.05	Tol Geral:	±0,2

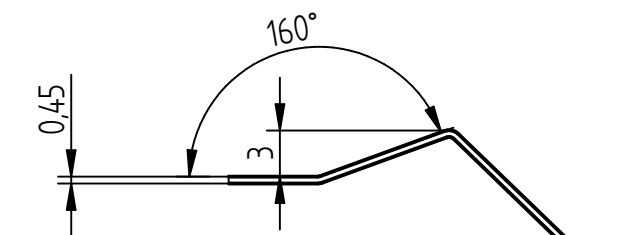


12	Recubrimiento interior B2	2	10.5261/5826.10.12	3H	Acero inox	7024 x 1338 x 1 mm	
11	Recubrimiento exterior	1	10.5261/5826.10.11	9F	Acero inox	9276 x 5702 x 1 mm	
10	Aislante 3	2	10.5261/5826.10.10	12C	Caucho		Esp. 1 mm
9	Recubrimiento interior A	2	10.5261/5826.10.09	12B	Acero inox	3426 x 1325 x 1 mm	
8	Perfil L 2	2	10.5261/5826.10.08	11A	ASTM A-36	20 x 20 x 2 mm	Cortes a 45°
7	Perfil L 1	2	10.5261/5826.10.07	10A	ASTM A-36	20 x 20 x 2 mm	Cortes a 45°
6	Placa de vidrio	1	10.5261/5826.10.06	9A	Vidrio	698 x 298 x 3 mm	
5	Placa de madera	1	10.5261/5826.10.05	7A	Madera	7042 x 3424 x 20 mm	
4	Aislante 2	1	10.5261/5826.10.04	6A	Lana de vidrio		Adaptado a la forma
3	Recubrimiento interior B	1	10.5261/5826.10.03	5A	Acero inox	7024 x 1338 x 1 mm	
2	Placa absorbedora	1	10.5261/5826.10.02	4A	Acero inox	8215 x 300 x 0,45 mm	
1	Aislante	1	10.5261/5826.10.01	1B	Lana de vidrio		Esp. 20 mm
Ref	Descripción	Cant	Norma	Local	Material	Dim. Brutas	Observaciones
Tratamiento térmico:		N.A.		Material: N.A.		Dimensiones brutas:	
Recubrimiento:		N.A.				707 x 350 x 115,4 mm	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		U.P.S.		DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth		29/06/2017
				DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth		29/06/2017
				REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.		29/06/2017
COLECTOR DE AGUA - 		ESC: 1 : 5		CÓDIGO:	10.5261/5826.10.00		Tol. Geral: ±1

Línea de doblés ——— — ———

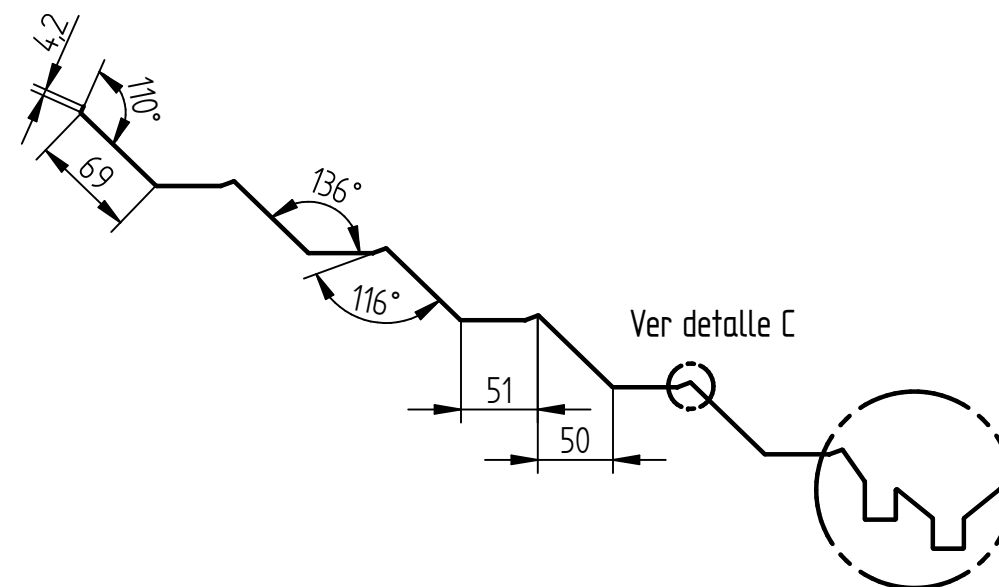
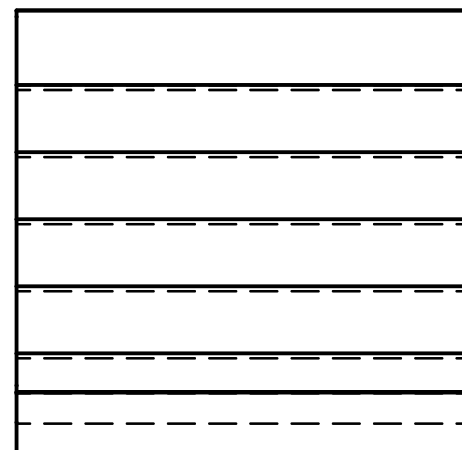


Espesor: 0,45 mm

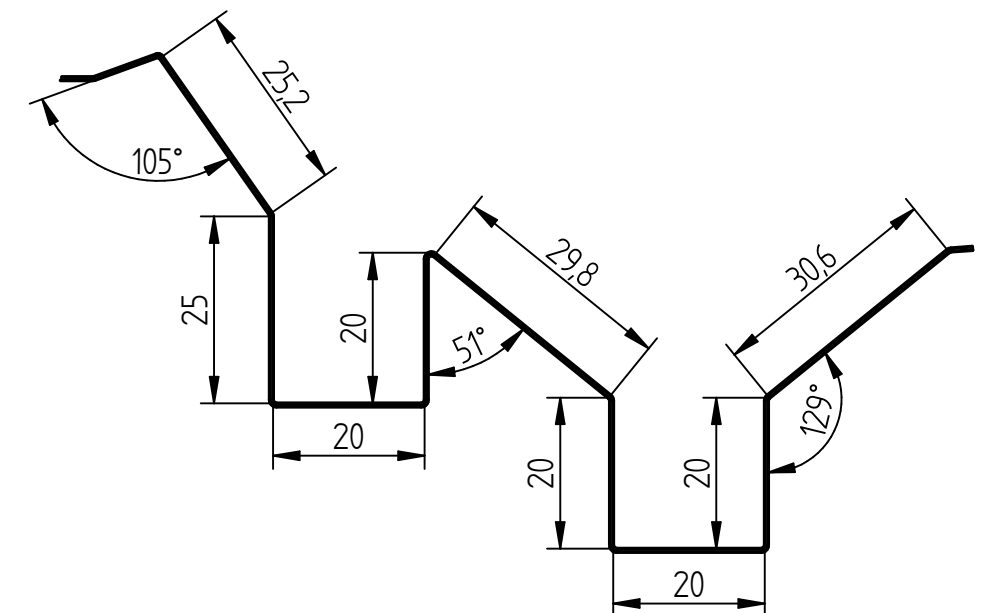


DETALLE C

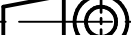
Doblado

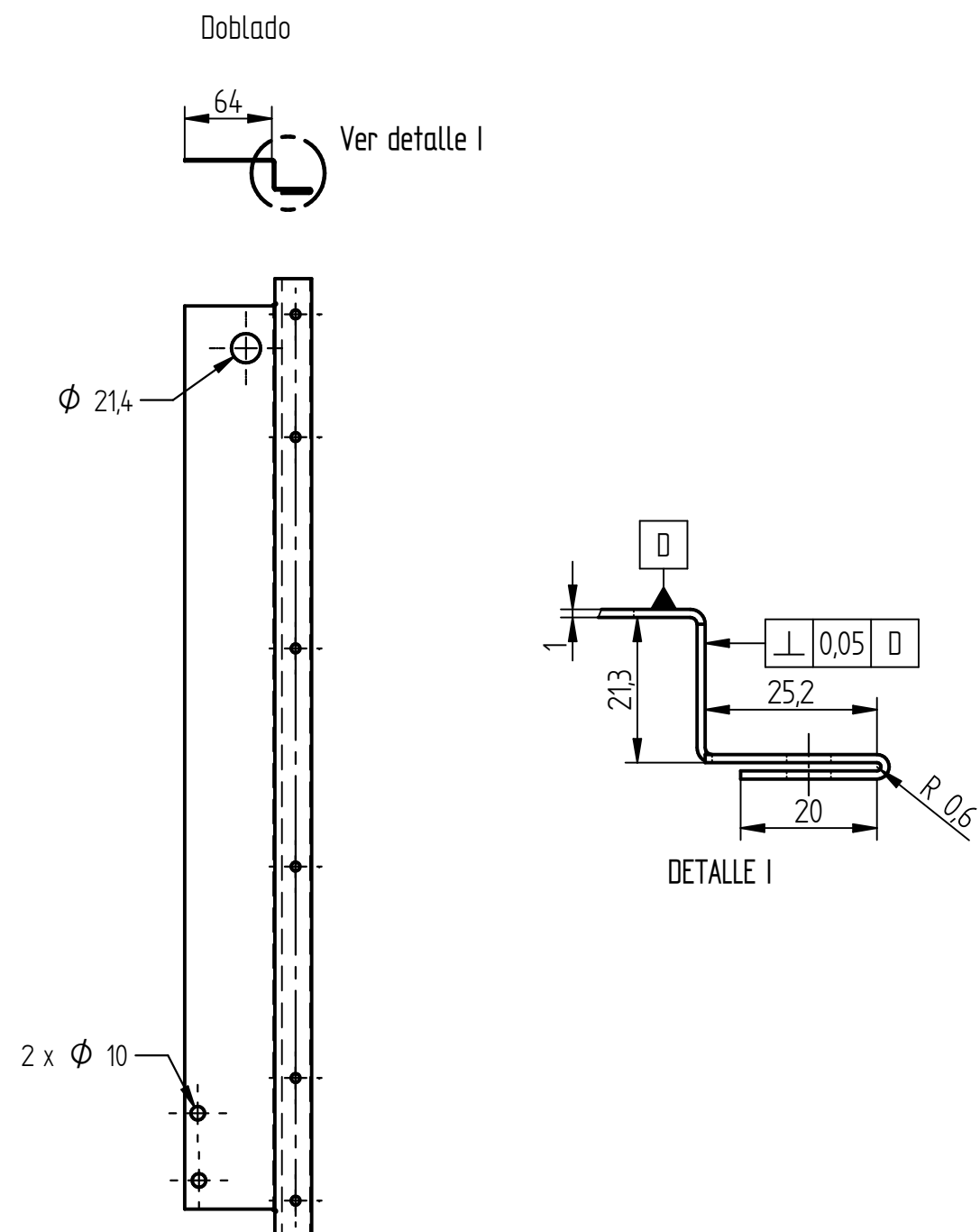
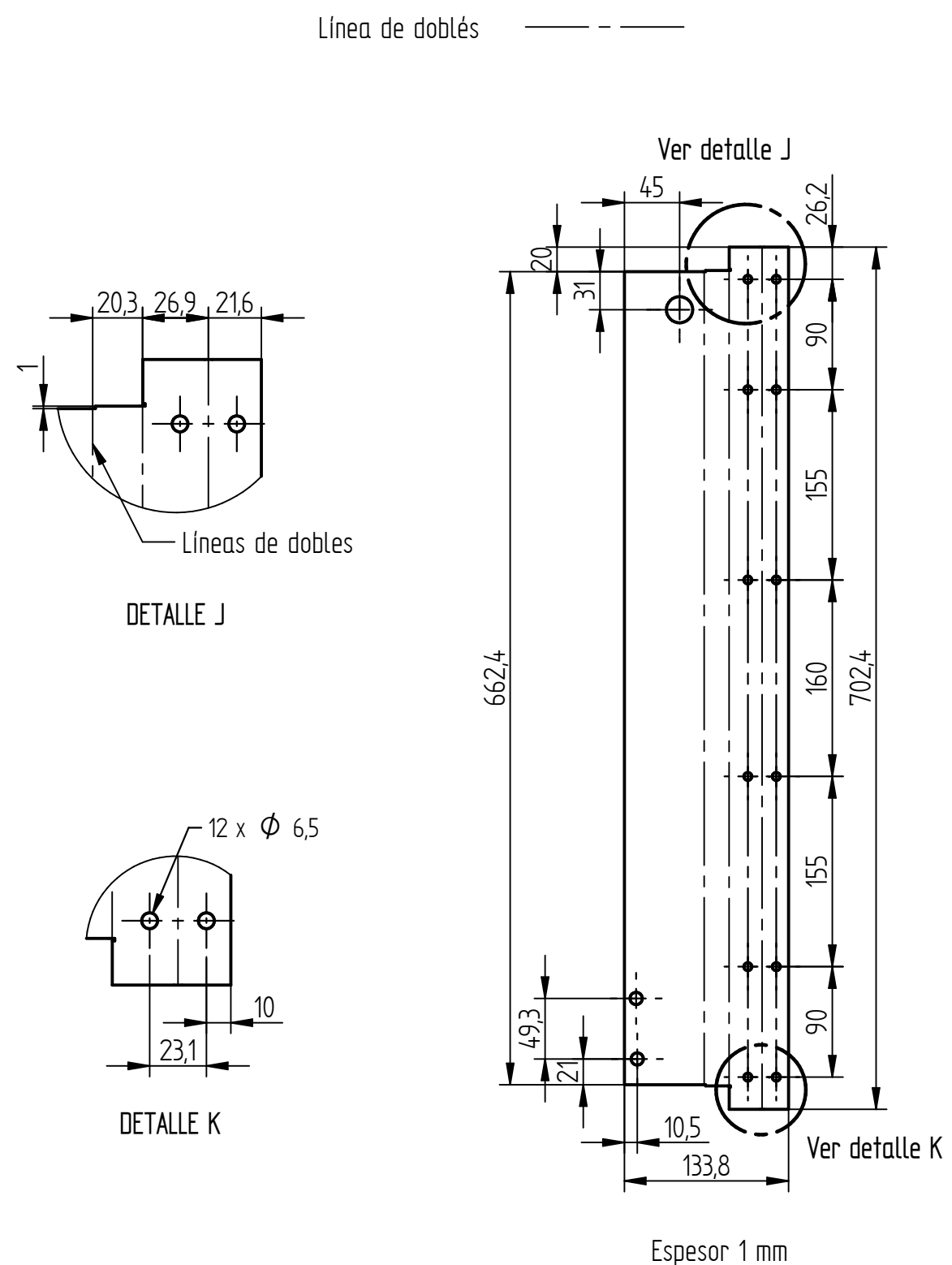



Ver detalle D

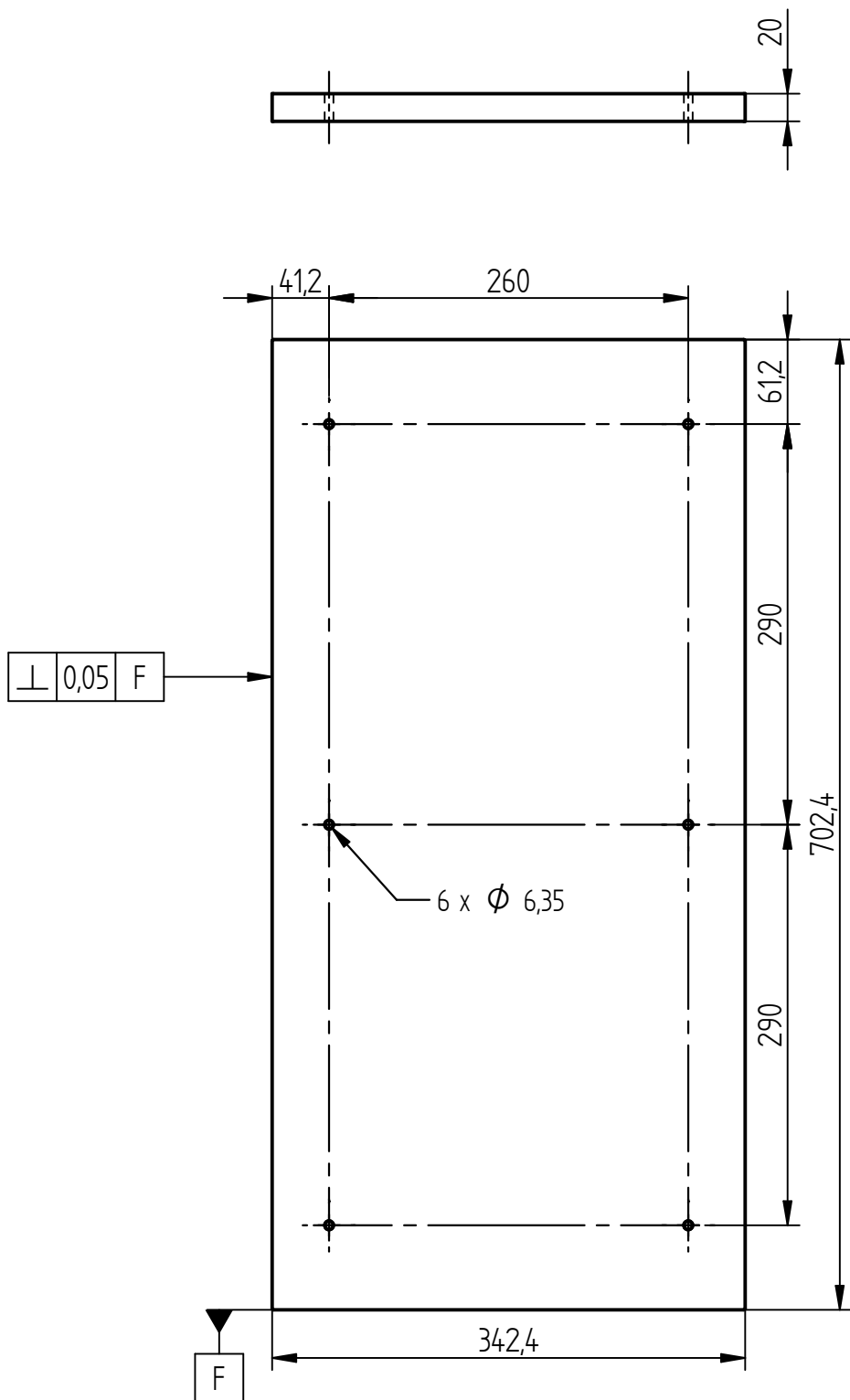


DETALE D

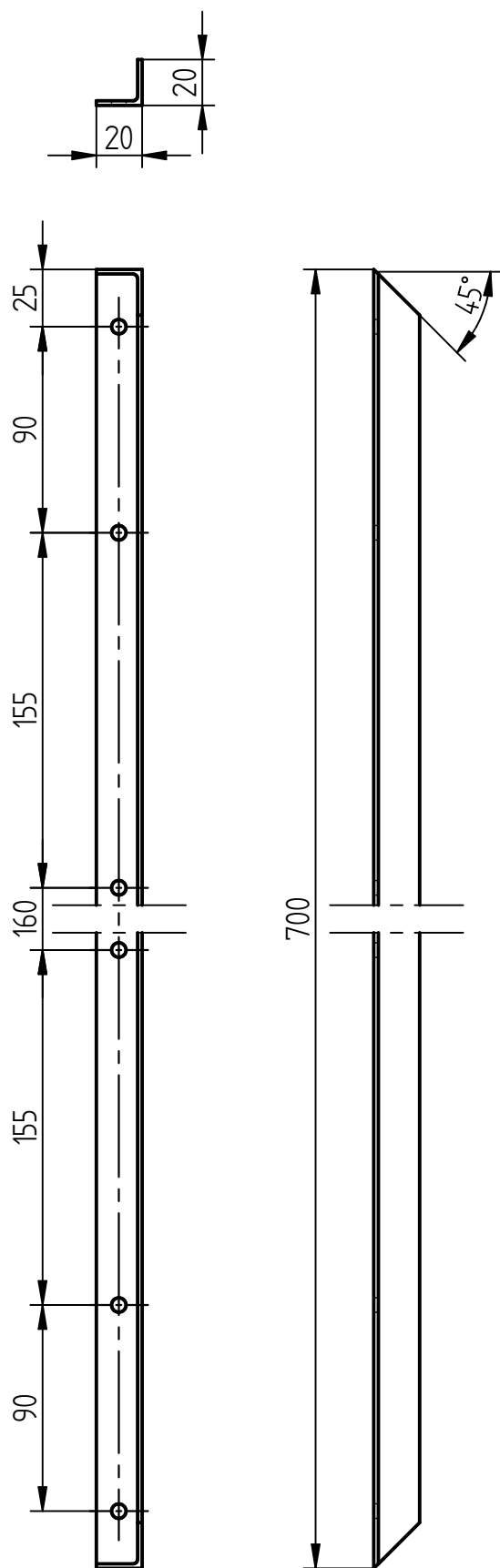
Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Dimensiones brutas:	
Recubrimiento:	Pintura	Acero inox	821,5 x 300 x 0,45 mm	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017
PLACA ABSORVEDORA		ESC: 1 : 5	CÓDIGO: 10.5261/5826.10.02	Tol Geral: ±0,1



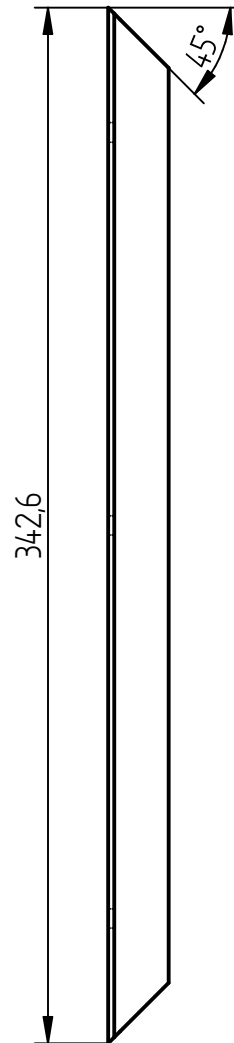
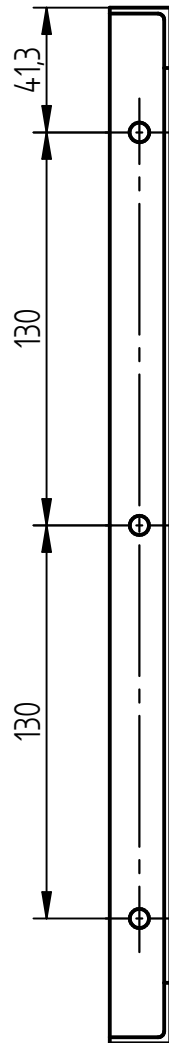
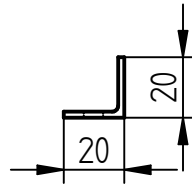
Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Acero inox	Dimensiones brutas:	702,4 x 133,8 x 1 mm
Recubrimiento:	N.A.				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	DIS:	Luna Jonathan, Ruíz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruíz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
RECUBRIMIENTO INTERIOR B		ESC: 1 : 5	CÓDIGO:	10.5261/5826.10.03	Tol Geral: ±0,1



Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Madera	Dimensiones brutas:	704,2 x 342,4 x 20 mm
Recubrimiento:	N.A.				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
PLACA DE MADERA	ESC: 1 : 5	CÓDIGO:	10.5261/5826.10.05	Tol Geral:	±0,1



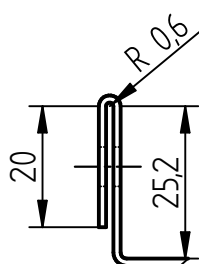
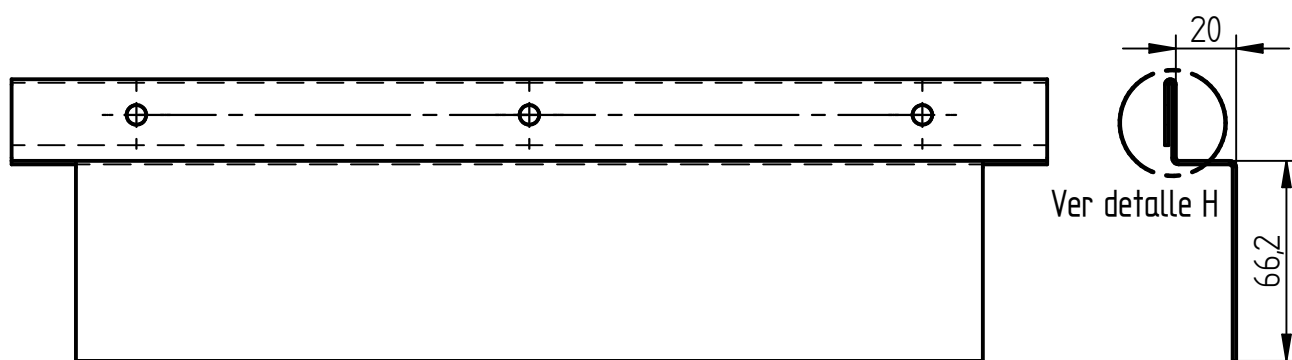
Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	ASTM A-36	Dimensiones brutas:	20x20x2 mm
Recubrimiento:	N.A.				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
PERFIL L 1	ESC: 1 : 2,5	CÓDIGO:	10.5261/5826.10.07	Tol Geral:	±0,1



Tratamiento térmico:		N.A.		Material:		Dimensiones brutas:	
Recubrimiento:		N.A.		ASTM A-36		20x20x2 mm	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			U.P.S.		DIS:	Luna Jonathan, Ruíz Lizeth	29/06/2017
					DIB:	Luna Jonathan, Ruíz Lizeth	29/06/2017
					REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017
PERFIL L 2		ESC: 1 : 2,5		CÓDIGO:		Tol Geral:	
				10.5261/5826.10.08		±0,1	

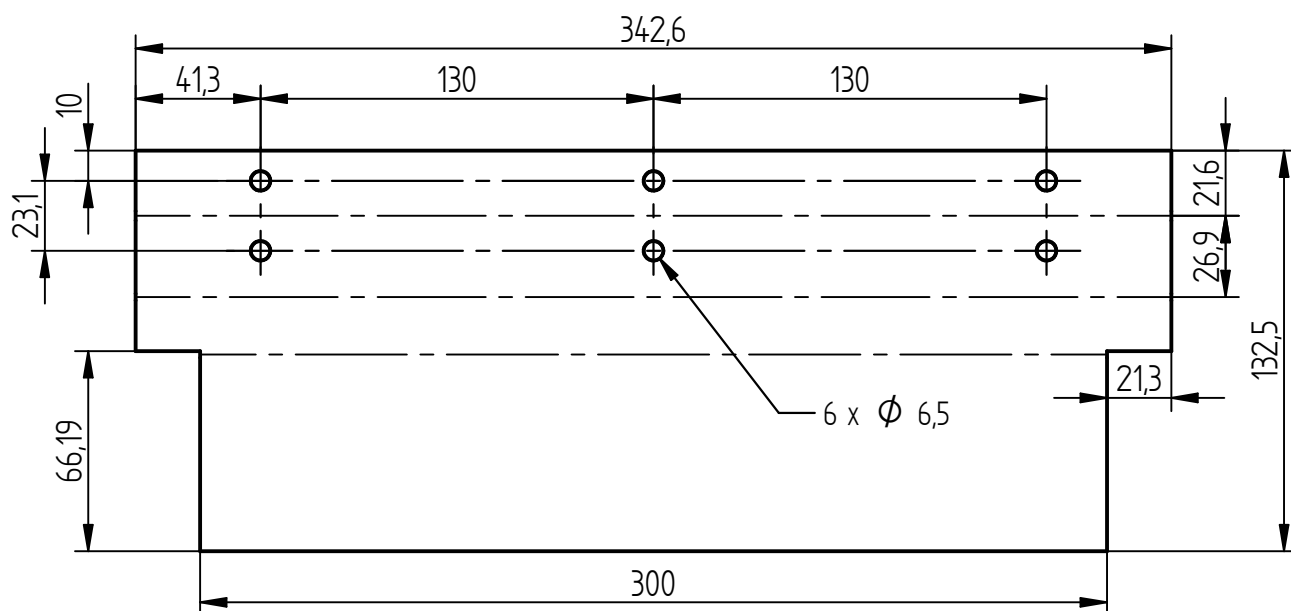
N7

Doblado



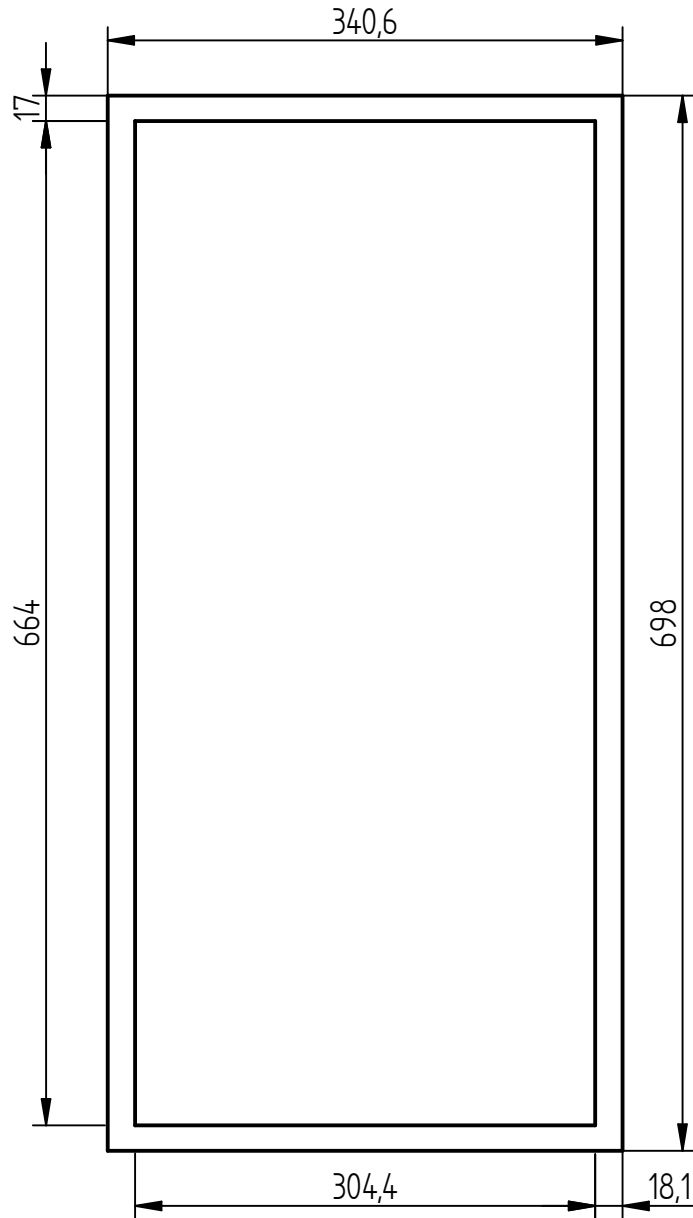
DETALLE H

Línea de doblés — — — — —



Espesor: 1 mm

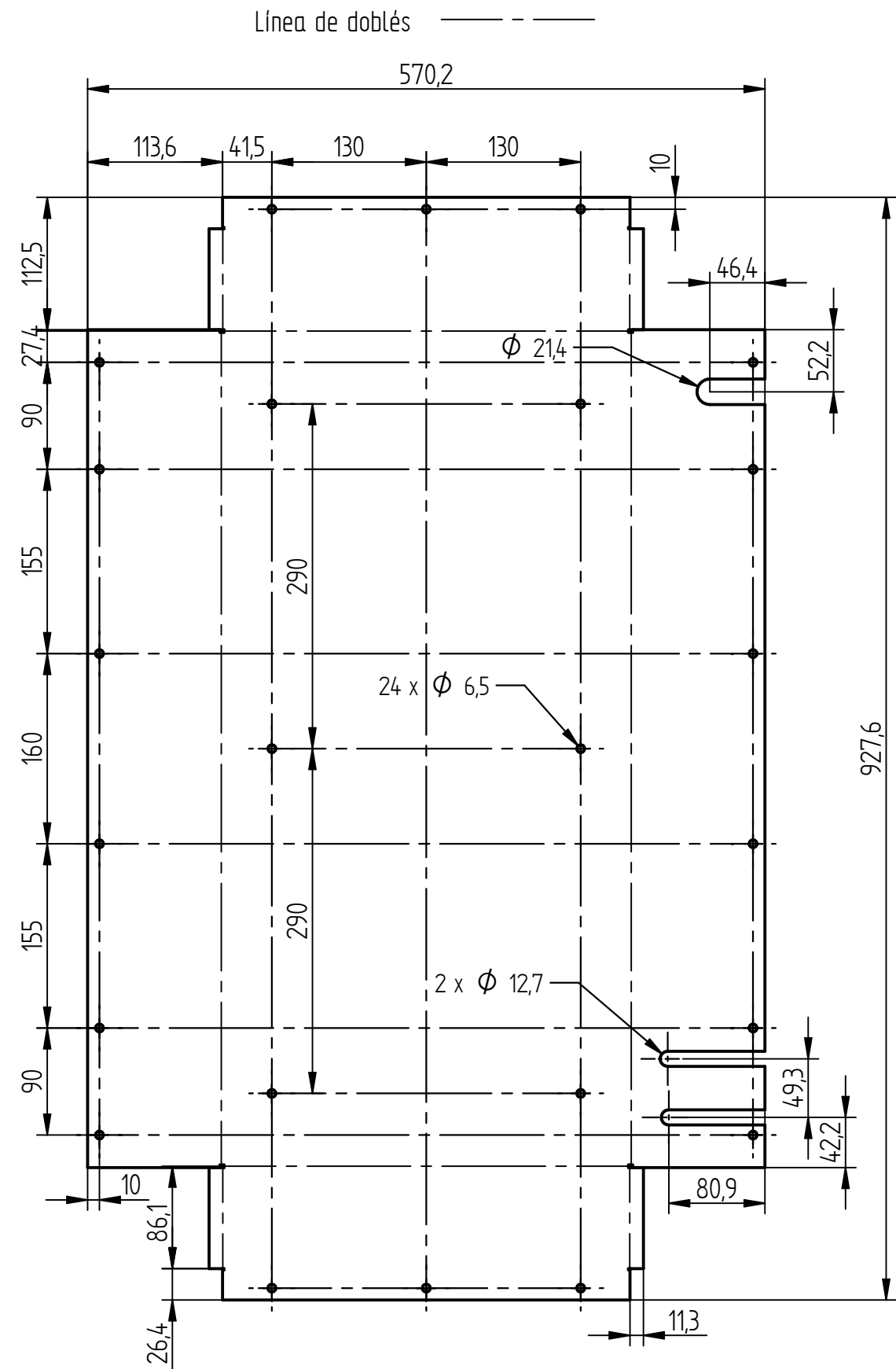
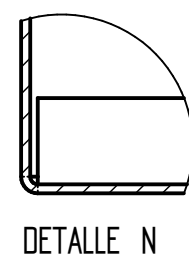
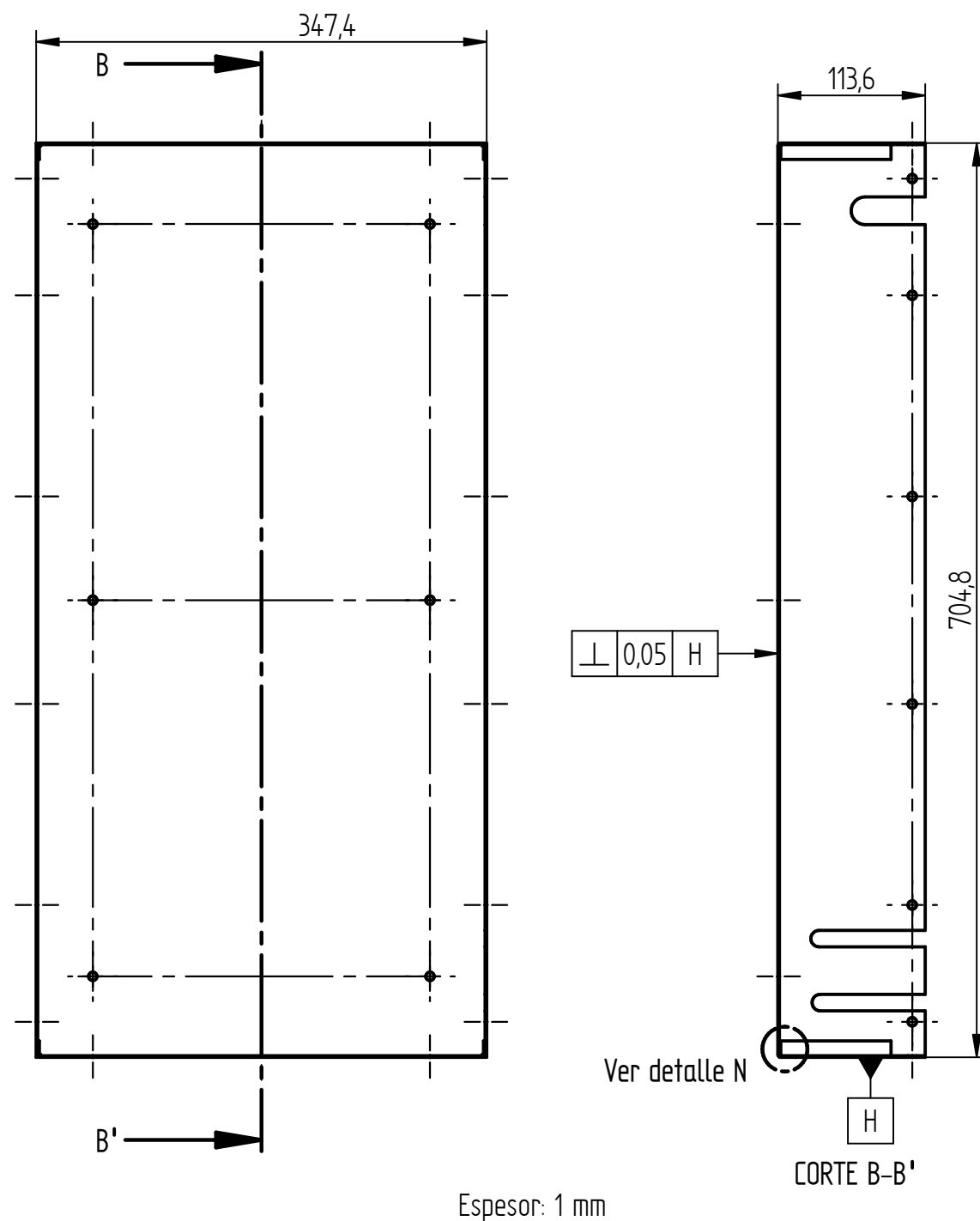
Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Acero inox		Dimensiones brutas:
Recubrimiento:	N.A.				342,6 x 132,5 x 1 mm
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
RECUBRIMIENTO INTERIOR A-	ESC: 1 : 2,5	CÓDIGO:	10.5261/5826.10.09	Tol Geral: $\pm 0,1$	



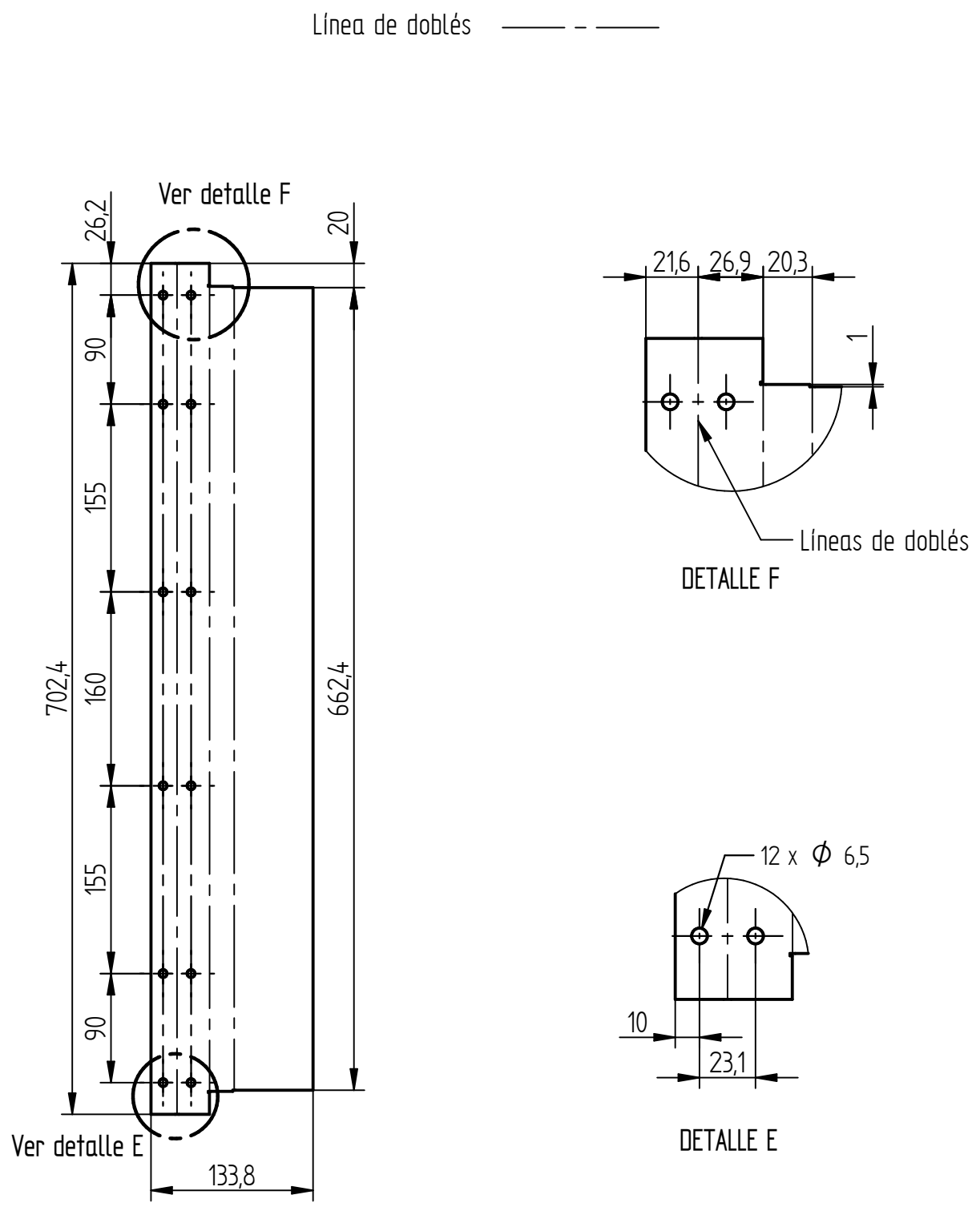
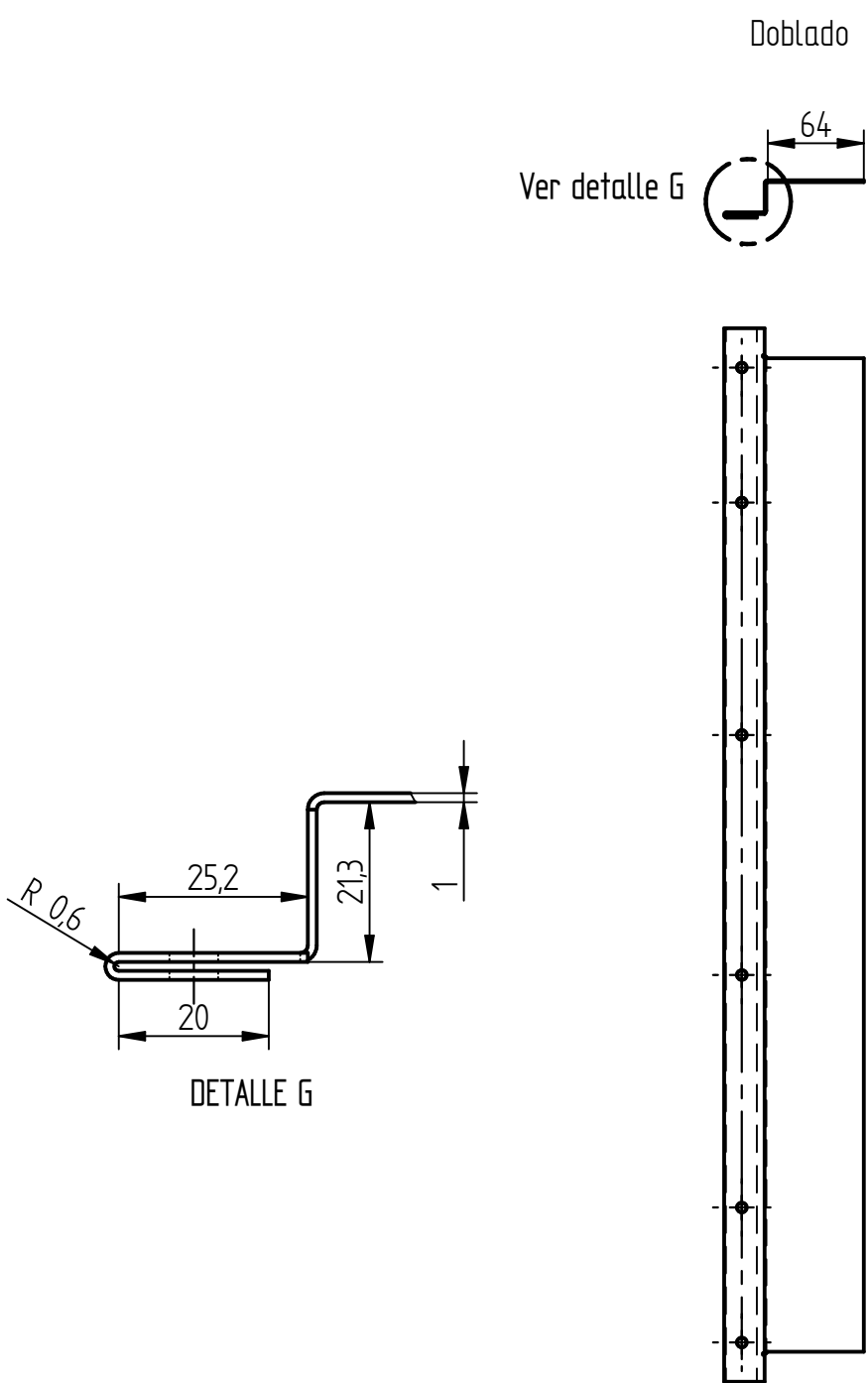
Espesor: 1 mm


Tratamiento térmico:		N.A.		Material:		Dimensiones brutas:	
Recubrimiento:		N.A.		Caucho		N.A.	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			U.P.S.		DIS:	Luna Jonathan, Ruíz Lizeth	29/06/2017
					DIB:	Luna Jonathan, Ruíz Lizeth	29/06/2017
					REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017
AISLANTE 3		ESC: 1 : 5		CÓDIGO:		Tol Geral:	
				10.5261/5826.10.10		±0,1	

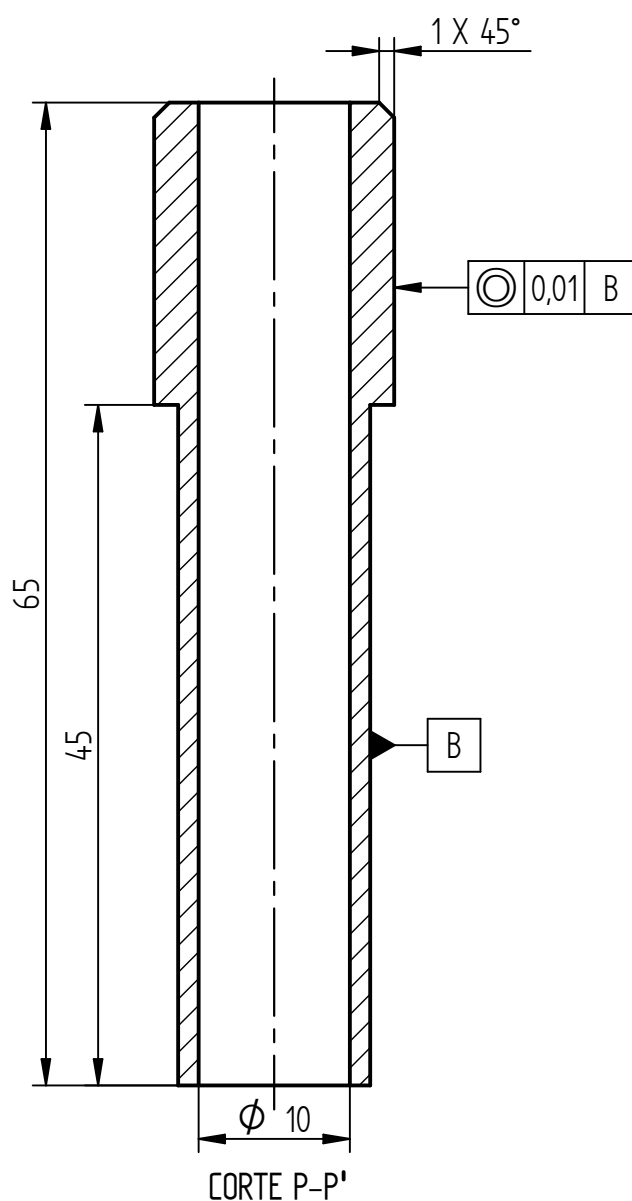
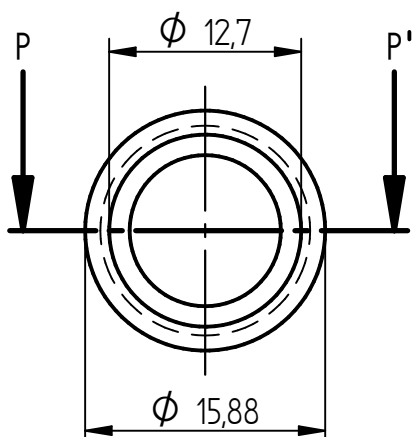
Doblado

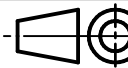


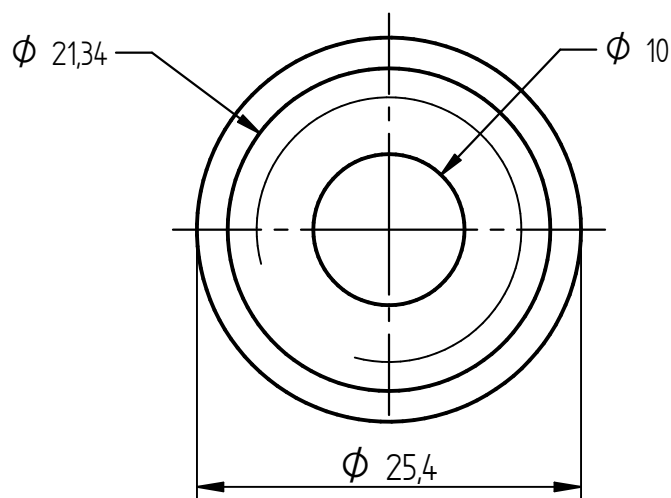
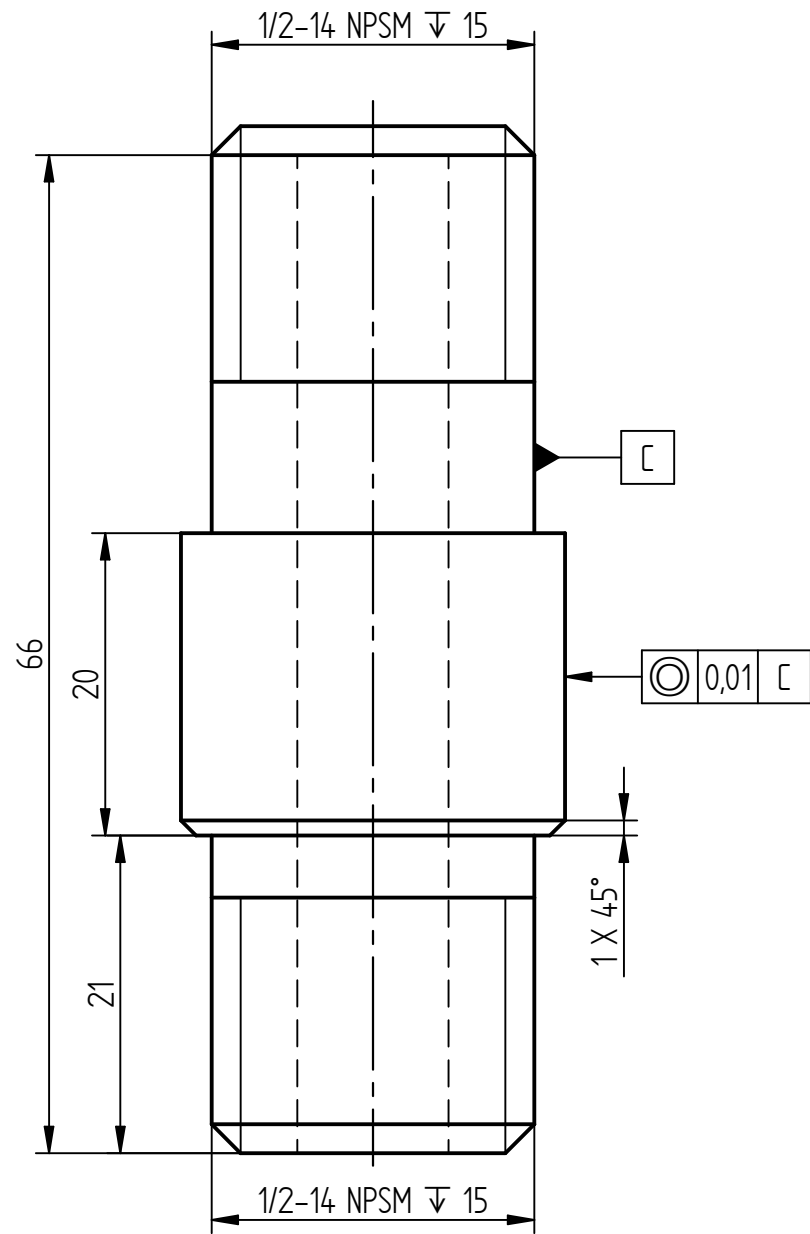
Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Acero inox	Dimensiones brutas:	927,6 x 570,2 x 1 mm
Recubrimiento:	N.A.				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
RECUBRIMIENTO EXTERIOR	ESC: 1 : 5	CÓDIGO:	10.5261/5826.10.11	Tol Geral: ±0,1	



Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Acero inox	Dimensiones brutas:	
Recubrimiento:	N.A.			702,4 x 133,8 x 1 mm	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		U.P.S.	DIS:	Luna Jonathan, Ruíz Lizeth	29/06/2017
			DIB:	Luna Jonathan, Ruíz Lizeth	29/06/2017
			REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017
RECUBRIMIENTO INTERIOR B2		ESC: 1 : 5	CÓDIGO: 10.5261/5826.10.12		Tol Geral: ±0,1



Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Acero inox 316		Dimensiones brutas:
Recubrimiento:	N.A.				$\phi 15,88 \times 60 \text{ mm}$
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
TUBO PARA SOLDAR		ESC: 2 : 1	CÓDIGO:	10.5261/5826.11.00	Tol Geral: $\pm 0,1$



Tratamiento térmico:	N.A.	Material:	Acero inox 316	Dimensiones brutas:	ϕ 25,4 x 66 mm
Recubrimiento:	N.A.				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	DIS:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		DIB:	Luna Jonathan, Ruiz Lizeth	29/06/2017	
		REV:	Ing. Quitiaquez William M.Sc.	29/06/2017	
TUBO UNIÓN	ESC: 2 : 1	CÓDIGO:	10.5261/5826.12.00	Tol Geral: \pm 0,1	